

AUS DER KLINIK FÜR KIEFERORTHOPÄDIE
UNIVERSITÄTSKLINIKUM DES SAARLANDES/SAAR
DIREKTOR: UNIV.-PROF. DR. JÖRG LISSON

**THERAPIEEFFEKTE VERSCHIEDENER INTRAORAL SKELETTAL
VERANKERTER KIEFERORTHOPÄDISCHER APPARATUREN ZUR
KOOPERATIONSUNABHÄNGIGEN DISTALISATION VON
OBERKIEFERMOLAREN.
EINE METAANALYSE**

DISSERTATION ZUR ERLANGUNG DES GRADES EINES DOKTORS DER
ZAHNHEILKUNDE DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT
DES SAARLANDES
2013

VORGELEGT VON CLAUDIA LANGE-MERFELD
GEBOREN AM 03.11.1968 IN OBERHAUSEN

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	6
1.1 Summary	7
2. Einleitung	8
2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung	8
2.2 Grundlagen	9
2.2.1 Die dentoalveolär bedingte Distalokklusion	9
2.2.2 Die Molarendistalisation	9
2.2.3 Skelettal abgestützte Verankerungssysteme	10
3. Material und Methode	12
3.1 Studiendesign	12
3.2 Statistisches Verfahren zur Durchführung der Metaanalyse	26
3.3 Verschiedene Analysemethoden	28
4. Ergebnisse	30
4.1 Basisdaten	30
4.1.1 Veröffentlichungsjahr	30
4.1.2 Fallzahl	30
4.1.3 Behandlungsdauer	31
4.1.4 Initialer Kraftaufwand	32
4.2 Dental-lineare Veränderungen	33
4.2.1 Distalisation / Mesialisierung	33
4.2.1.1 Distalisation der Molaren	33
4.2.1.2 Distalisation der 1.Prämolaren	37
4.2.1.3 Distalisation der 2.Prämolaren	39
4.2.1.4 Distalisation der Incisivi	41
4.3 Dental-anguläre Veränderungen	43
4.3.1 Kippung der Molaren	43
4.3.2 Kippung der 1.Prämolaren	45
4.3.3 Kippung der Incisivi	47
5. Diskussion	48
5.1 Dental-lineare Veränderungen	49
5.2 Dental-anguläre Veränderungen	52
5.3 Einfluss dentitionsbedingter Faktoren	54
6. Literaturverzeichnis	57
7. Danksagung	60
8. Lebenslauf	61

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CI	Konfidenzintervall
Tab.	Tabelle

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Literaturrecherche
Abbildung 2:	Situation nach Anlegen der Distalisationsapparatur
Abbildung 3:	Situation nach der Distalisation
Abbildung 4:	Modifizierte Pendulum-Apparatur vor der Distalisation
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Apparatur mit bukkalem Kraftansatz
Abbildung 6:	Angelegte Apparatur vor der Distalisation
Abbildung 7:	Eingesetzte modifizierte Hilgers-Apparatur vor der Distalisation
Abbildung 8:	Angelegte Apparatur vor der Distalisation
Abbildung 9:	Schematische Darstellung der Distalisationsapparatur
Abbildung 10:	Schematische Darstellung der Apparatur
Abbildung 11:	Veröffentlichungsjahre der Studien zur Molarendistalisation
Abbildung 12:	Fallzahl der Studien zur Molarendistalisation
Abbildung 13:	Behandlungsdauer mit skelettal verankerten Apparaturen
Abbildung 14:	Initialer Kraftaufwand zur Molarendistalisation bei skelettaler Verankerung
Abbildung 15:	Distalisation der Molaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 16:	Distalisation der Furkation in zwei Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 17:	Distalisation der Krone in zwei Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 18:	Distalisation der 1. Prämolaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 19:	Distalisation der 2. Prämolaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 20:	Distalisation der Incisivi in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 21:	Kippung der Molaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 22:	Kippung der 1. Prämolaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt
Abbildung 23:	Kippung der Incisivi in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die in die Metaanalyse einbezogenen Studien
Tabelle 2:	Initialer Kraftaufwand zur Molarendistalisation bei skelettaler Verankerung (N)
Tabelle 3:	Distalisation der Molaren in verschiedenen Studien
Tabelle 4:	Distalisation der Furkation in zwei Studien
Tabelle 5:	Distalisation der Krone in zwei Studien
Tabelle 6:	Distalisation der 1. Prämolaren in verschiedenen Studien
Tabelle 7:	Distalisation der 2. Prämolaren in verschiedenen Studien
Tabelle 8:	Distalisation der Incisivi in verschiedenen Studien
Tabelle 9:	Kippung der Molaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt
Tabelle 10:	Kippung der 1. Prämolaren und Gesamttherapieeffekt
Tabelle 11:	Kippung der Incisivi in verschiedenen Studien

1. Zusammenfassung

Einleitung: Zur Distalisation von Oberkiefermolaren haben skelettal getragene Verfahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Ein Vergleich der konventionellen Verankerungsmethode mit implantatgetragenen Behandlungsgeräten im Hinblick auf den Primäreffekt der Molarendistalisation ist bislang nicht erfolgt.

Methodik: Es wurden in einer Literaturrecherche 1366 Publikationen nach Suchwörtern selektiert. 9 Studien mit insgesamt 185 Patientendatensätzen wurden in einer Metaanalyse ausgewertet, um den therapeutischen Effekt implantatgestützter Distalisationsverfahren und die Ausprägung unerwünschter Nebeneffekte mit den Therapieeffekten konventioneller Verankerungsformen zu vergleichen.

Ergebnisse: Der Gesamttherapieeffekt für die Distalisation der Molaren lag bei $2,78 \pm 0,17$ (Konfidenzintervall 2,46-3,10). Bei skelettaler Verankerung konnte kein Verankerungsverlust im Sinne einer Mesialwanderung der anterioren Zahngruppe festgestellt werden, sondern eine leichte Distalisation auch der Prämolaren und Incisivi. Der Gesamttherapieeffekt der Distalisation der ersten Prämolaren betrug $1,97 \pm 0,20$ (Konfidenzintervall 1,58-2,36), für die zweiten Prämolaren lag im Ergebnis ein Gesamttherapieeffekt von $2,37 \pm 0,22$ (Konfidenzintervall 1,94-2,80) vor. Der Gesamttherapieeffekt für die Distalisation der Incisivi betrug $0,46 \pm 0,13$ (Konfidenzintervall 0,21-0,71).

In den ausgewerteten Studien konnte ein Nebeneffekt der Kippung der Molaren und Prämolaren errechnet werden. Der Gesamttherapieeffekt zur Kippung der Molaren lag bei $1,85 \pm 0,13$ (Konfidenzintervall 1,59-2,11) und bezüglich der Kippung der ersten Prämolaren bei $1,18 \pm 0,13$ (Konfidenzintervall 0,93-1,43). Bei den Incisivi errechnete sich ein Gesamttherapieeffekt von $0,59 \pm 0,11$ (Konfidenzintervall 0,37-0,81). Dieser Wert lag leicht unterhalb des in der Literatur angegebenen Wertes für die Kippung der Incisivi bei konventionell verankerten Geräten.

Schlussfolgerungen: Die vorliegende Studie konnte einen größeren Gesamttherapieeffekt bei skelettal verankerten Distalisationsgeräten bei insgesamt weniger unerwünschten Nebeneffekten nachweisen.

Die skelettalen Verankerungen scheinen somit den konventionellen Verfahren überlegen zu sein, wobei zur endgültigen Evaluierung und bevor eine allgemeingültige Empfehlung ausgesprochen werden kann, prospektive randomisierte Studien mit größeren Fallzahlen anzustreben sind.

1.1 Summary

Introduction: In the distalization of maxillary molars, skeletal procedures have taken on greater significance. A comparison of the conventional anchoring method with implant-based treatment equipment has not been carried out so far.

Methodology: A literature research was carried out containing 1366 publications, which were selected according to certain key words. Altogether, 9 studies covering a total of 185 patients were evaluated in a meta-analysis, in order to compare the therapeutic effect of implant-based distalization procedures and the occurrence of unwanted side-effects with the therapy effects of conventional anchoring methods.

Results: The overall therapeutic effect for molar distalization was 2.78 ± 0.17 (confidence interval 2.46-3.10). The skeletal anchorage showed no loss of anchorage in terms of mesial drifts of the anterior group of teeth, but also a slight distalization of the premolars and the incisors. The therapeutic effect of the distalization of the first premolars was 1.97 ± 0.20 (confidence interval 1.58-2.36), for the second premolars the result was a total therapeutic effect of 2.37 ± 0.22 (confidence interval 1.94-2.80). The therapeutic effect for the distalization of the incisors was 0.46 ± 0.13 (confidence interval of 0.21-0.71).

In the evaluated studies, a slightly increased side effect of the tilting of the molars and premolars was calculated. The total therapeutic effect regarding the tilting of the molars was 1.85 ± 0.13 (confidence interval 1.59-2.11) and regarding the tilting of the first premolars was 1.18 ± 0.13 (confidence interval 0.93-1.43). For the incisors, a therapeutic effect of 0.59 ± 0.11 (confidence interval 0.37-0.81) was calculated. This value was slightly lower than the calculated value for the tilting of the incisors in conventionally anchored appliances stated in the professional literature.

Conclusions: The present study was able to prove a greater total therapy effect in skeletal anchored distalization appliances together with less unwanted side-effects.

Thus, skeletal anchoring seems superior to conventional procedures, however, for a final evaluation and before a general recommendation can be made, prospective randomized studies with a larger number of cases must be carried out.

2. Einleitung

2.1 Einführung in die Thematik und Fragestellung

Die Molarendistalisation stellt die therapeutische Maßnahme der Wahl für die Korrektur der Distalokklusion bei sagittal-neutraler Unterkieferposition als Unterform der Klasse II - Dysgnathien dar.

Während von 1907 bis etwa 1960 vorwiegend Apparaturen eingesetzt wurden, welche eine starke Kooperationsbereitschaft des Patienten aufgrund extraoraler Verankerungseinheiten benötigten, haben zunehmend kooperationsunabhängige Verankerungsformen an Bedeutung gewonnen. Sie werden zum einen dental und zum anderen gingival durch eine Gaumenpelotte abgestützt, wobei diese Verankerungsform jedoch bedingt durch die Resilienz der Schleimhaut nur eine begrenzte Verankerungsqualität hat. Eine in zahlreichen Studien nachgewiesene Nebenwirkung ist der Verankerungsverlust, erkennbar durch die Mesialwanderung der anterioren Verankerungseinheit ¹⁶.

Seit etwa 20 Jahren sind skelettale Verankerungen zur Molarendistalisation eingeführt worden, welche zum Teil bekannte dentoalveoläre Distalisationssysteme in ihrer Verankerung unterstützen und zum Teil auch alleinige Verankerungsblöcke bilden.

Vergleichende Untersuchungen zur Effektivität der beiden Systeme sind bisher in nur sehr begrenztem Maße und mit stark divergierenden Ergebnissen erfolgt. Fudalej und Antoszewska¹⁵ berichteten in ihrem systematischen Review über die Schwierigkeiten eines Vergleichs der bislang durchgeführten Studien zur Molarendistalisation aufgrund stark unterschiedlicher Studiendesigns und Messdaten. Eine Metaanalyse erschien den Autoren bedingt durch die unterschiedlichen Messmethoden, Patientenkollektive und die unterschiedliche Standardabweichung nicht durchführbar.

Aufgrund der besseren Studienlage zur kooperationsunabhängigen Molarendistalisation in jüngerer Zeit sind die Hinderungsgründe für die Durchführung einer Metaanalyse nicht mehr in gleichem Maße gegeben.

Ziel dieser Studie ist eine statistische Aufarbeitung von Art und Ausmaß der Wirkung und Nebenwirkung bei Anwendung der unterschiedlichen Apparaturen zur skelettal verankerten Molarendistalisation in Form der Metaanalyse. Ausgehend von den Ergebnissen wird weiterhin diskutiert, wie diese Effekte im Vergleich mit in der Literatur

beschriebenen dentoalveolär verankerten Geräten zur Molarendistalisation einzuschätzen sind.

2.2 Grundlagen

2.2.1. Die dentoalveolär bedingte Distalokklusion

Die Behandlung von Klasse II-Dysgnathien richtet sich nach der Ursache, die dentoalveolär, skelettal oder eine Kombination dieser Möglichkeiten sein kann. Sofern die Aufwanderung von Oberkieferseitenzähnen ursächlich ist, bleibt die Molarendistalisation die bevorzugte Therapieform.

Die vorliegende Metaanalyse untersucht nur Studien zur Oberkiefermolarendistalisation.

2.2.2 Die Molarendistalisation

Eine Abstützung zur Verankerung können sowohl anatomische Strukturen im Bereich des Gesichtsschädels sein als auch einzelne Zähne oder Zahngruppen. Hierbei ist das 3. Newtonsche Axiom ($\text{actio} = \text{reactio}$) zu berücksichtigen, welches Newton 1687 als physikalisches Prinzip erklärte. Newton stellte heraus, dass jede Krafteinwirkung stets eine gleichgroße gegengerichtete Kraft erzeugt. Dieses Prinzip ist ebenso wie in der Physik auch auf Zahnbewegungen übertragbar. Wird ein Zahn als Verankerungselement genutzt, so wird dieser zumindest geringfügig mit mobilisiert. Auf ihn wirkt dieselbe entgegen gerichtete Kraft ein, welche auf den zu bewegendenden Zahn appliziert wird. Wichtig für das Ausmaß der Gegenbewegung ist die Widerstandskraft des Ankerzahnes. In einigen wenigen Situationen sind diese gegenläufigen Bewegungen von therapeutischem Nutzen, beispielsweise bei einem reziproken Lückenschluss²⁹. In anderen Fällen kann diese Bewegung das Ergebnis der kieferorthopädischen Therapie jedoch ungünstig beeinflussen oder sogar gefährden. Innerhalb des Zahnbogens bestimmt die Wurzeloberfläche der zur Verankerung genutzten Zähne die Güte der Verankerung. Sofern diese nicht ausreicht und Nebenwirkungen in Form des Verankerungsverlustes zu erwarten sind, ist der Therapieerfolg gefährdet.

2.2.3 Skelettal abgestützte Verankerungssysteme

Seit etwa zwei Jahrzehnten werden implantatgetragene Verankerungsformen genutzt und ständig weiterentwickelt. In der ersten Zeit wurden längenreduzierte osseointegrierte Implantate verwendet. Bezüglich ihrer Stabilität haben zahlreiche Studien bewiesen, dass osseointegrierte Implantate einer orthodontischen Kraftapplikation standhalten^{5, 6, 20, 28, 33, 35, 38}. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten zur skelettalen Verankerung kieferorthopädischer Apparaturen, sodass im Folgenden nur die beiden Grundprinzipien erläutert werden sollen.

Es handelt sich hierbei um zunächst für die zahnärztliche Prothetik entwickelte enossale Implantatsysteme, welche in der Länge reduziert wurden. Nach der Einheilphase werden die Implantate freigelegt und dürfen dann mit kieferorthopädischen Apparaturen verbunden und belastet werden. Im Jahr 1996 konnte Wehrbein⁴² das Orthosystem vorstellen, welches Implantate in einer reduzierten Länge für die maxilläre Implantation und orthodontische Kraftapplikation enthielt. Seinen Untersuchungen zufolge blieben diese Schrauben 12 Wochen positionsstabil. Voraussetzung dafür war eine dreimonatige Einheilphase.

Eine Lockerung der Fixaturen ist bei den Implantaten nicht festgestellt worden; vielmehr konnten in einigen experimentellen Studien sogar Knochenappositionen im Implantationsgebiet nachgewiesen werden¹⁴. Die an ein orthodontisches Implantat gestellten Anforderungen stellen sich anders dar als bei Implantaten, welche für andere - beispielsweise prothetische - Zwecke benötigt werden. Da kieferorthopädische Patienten meist voll bezahlt sind, können die Implantate nicht wie sonst üblich in den Alveolarknochen inseriert werden. Es bieten sich für orthodontische Implantate die Region im Gaumen an^{1, 19, 40-42}, die retromolare Region^{22, 39} oder die Region am Jochbein¹².

Skelettale Verankerung durch Minischrauben

Kanomi²³ entwickelte 1997 eine spezielle kieferorthopädische Schraube, welche minimalinvasiv ohne Schleimhautpräparation angewendet werden konnte.

Mittlerweile wurden zahlreiche Schraubensysteme entwickelt, welche sich in Design, Implantatdimension und Insertionsort unterscheiden²⁹.

Minischrauben können minimalinvasiv im- und explantiert werden². Ebenso entfällt die Einheilphase, da die Schrauben ihre Stabilität durch mechanische Retention im entsprechenden Knochengebiet erreichen.

Die Verlustrate von orthodontischen Implantaten ist abhängig vom Insertionsort, von der Knochenqualität und von der periimplantären Knochenquantität. Der Forschungsgruppe von Chen et al.⁷ zufolge liegt die Verlustrate der Minischrauben mit Lokalisation am Alveolarknochen bei 9,5 - 24,6 %, die der osseointegrierten Minischrauben TAD (Temporary Anchorage Device) 1,2 - 4,7%⁸. Die Untersuchungen von Wehrbein et al.⁴³ ergaben bei in den Gaumen inserierten Implantaten eine Verlustrate von unter 10 %. Zu den Insertionsorten entwickelten Ludwig et al.^{30 32} im Jahr 2011 Leitlinien zur Lokalisation orthodontischer Mini-Implantate.

Die Lokalisation der Insertionsstellen der Miniimplantate hängen stark vom jeweiligen Verankerungsaufbau ab.

Die derzeit häufig angewendeten Apparaturen sind Pendelapparaturen und Druckfedersysteme.

Druckfedersysteme werden sowohl mit palatinaler als auch mit vestibulärer, sowie gleichzeitig mit beiden Kraftapplikationen eingesetzt. Im Gegensatz zu den Federdruckmodulen arbeiten die Pendelfedersysteme friktionslos und damit deutlich schneller. Nachteilig hier sind die biomechanischen Nebeneffekte, welche bereits während der Behandlungsphase durch Ausgleichsbiegungen aufgefangen werden müssen¹⁸.

In die vorliegende Analyse fließen Studien ein, welche mit Pendelfedersystemen als auch Studien, welche mit Federdruckmodulen arbeiten.

.

3. Material und Methode

3.1 Studiendesign

Im Rahmen des Projektes wurde in Anlehnung an die PRISMA Richtlinien eine systematische Analyse deutscher und international verfügbarer publizierter Studien zum Thema Molarendistalisation mittels skelettal befestigter Verankerungssysteme durchgeführt.

Die gefundenen Studien wurden in einer Metaanalyse ausgewertet, um so die verschiedenen beschriebenen Therapieeffekte vergleichen zu können.

Die Recherche nach den Artikeln wurde mit Hilfe von Pubmed, Embase und der Cochrane Library unter Verwendung des Literaturverwaltungsprogramms Endnote X5[®] ausgeführt. Die Anlage des Literaturverzeichnisses und dessen Formatierung sowie die Zitierweise erfolgten entsprechend der Vorgaben der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes.

Auswahl geeigneter Publikationen als Analysegrundlage

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden 1366 Artikel der Jahre 2000 bis 2011 unter Angabe folgender Suchwörter gefunden:

- Distalization/ distalisation
- Molar distalization
- Skeletal anchorage
- Mini-screw
- Mini-pin
- Implant
- Pendulum

Unter diesen Artikeln befanden sich Fachartikel über Implantate im Bereich des Zahnersatzes und der Kieferorthopädie, der Molarendistalisation allgemein, unterschiedlicher Apparaturen, Anwendungs- und Operationstechniken von Implantaten, klinische Studien und Einzelfalldarstellungen. In die Metaanalyse sollten nur Erstveröffentlichungen und Originalarbeiten einbezogen werden. Weiterhin wurden folgende Ausschlusskriterien definiert:

- Einzelfallbeschreibungen („Case-Reports“)
- Studien mit einer Fallzahl < 4
- Studien mit Beschreibung neuer Apparaturen

Wichtige Kriterien im Hinblick auf die Verwendbarkeit der Metaanalyse zugrunde liegenden Studien waren:

- Weitgehende inhaltliche Homogenität der Studien
- Anzahl von mindestens 10 untersuchten Patienten innerhalb der Stichprobe
- Statistische Angaben der Messwerte zur Distalisation, Mesialisierung, Angulation und Intrusion mit Standardabweichungen
- Einheitliche kephalometrische Vermessungen innerhalb der klinischen Studien
- Einheitliche Lokalisation der Verankerungselemente
- Molarendistalisation im Oberkiefer

Nachdem 2011 Fudalej und Antoszewska ¹⁵ in ihrem systematischen Review bereits auf die besonderen Schwierigkeiten in Bezug auf vergleichbare Ergebnisse von Studien zur skelettal verankerten Molarendistalisation hingewiesen haben, soll in dieser Arbeit der Versuch eines Vergleiches über die Standardtherapieeffekte mittels Metaanalyse gemacht werden. Im Vergleich zu den durch die Autoren Fudalej und Antoszewska herausgestellten Arbeiten wurden die in die Metaanalyse einbezogenen Studien nochmals selektiert und nur Studien einbezogen, welche ausschließlich die Oberkiefermolarendistalisation ausgewertet haben. Weiterhin wurde durch Berechnung des Standardtherapieeffektes eine indirekte Vergleichbarkeit der Studienergebnisse geschaffen, so dass auch Studien mit unterschiedlichen Primärergebnissen verglichen werden konnten.

In der vorliegenden Arbeit wurden die nach der Recherche ausgewählten Studien nochmals im Hinblick auf Homogenität selektiert. Die sehr unterschiedlichen Primärergebnisse der einzelnen Untersuchungen konnten über die Errechnung der Standardtherapieeffekte vergleichbar dargestellt werden. Trotz weiterer Selektion konnten 11 Patientenkollektive aus 9 Untersuchungen in die Studie einfließen, was schlussendlich doch die Möglichkeit zu einer Metaanalyse bot.

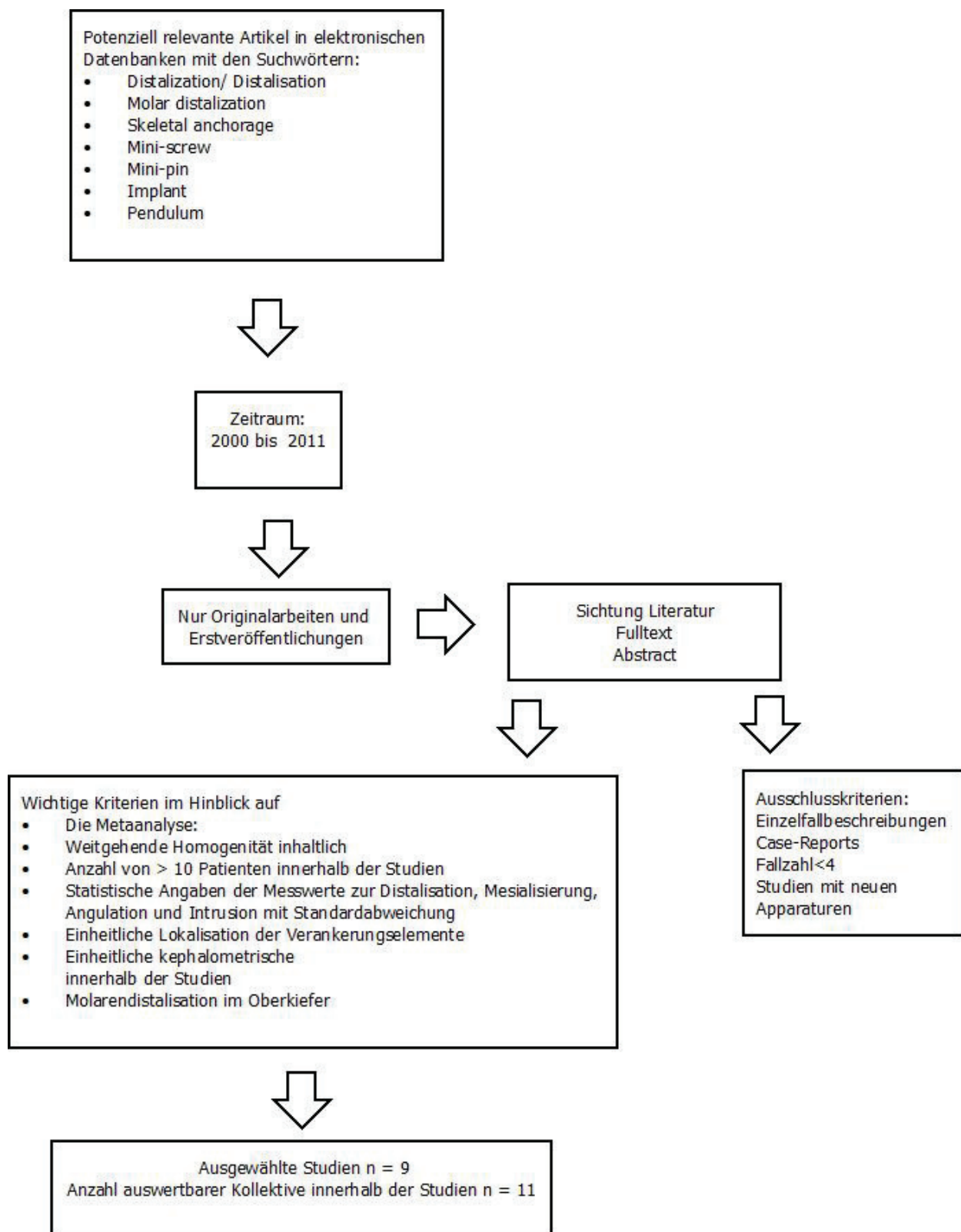


Abbildung 1: Literaturrecherche

Wichtigster Parameter innerhalb der Metaanalyse war die Distalisation der Sechsjahrmolaren, welche durch skelettal verankerte Distalisationsapparaturen erreicht wurde. Neben dem Haupteffekt sollten in den herausgefilterten Studien auch Angaben über die Nebeneffekte Angulation, Intrusion und Mesialisierung erhoben worden sein.

Zur Berechnung des Verankerungsverlustes sollten Messwerte auch für die Bewegung der Prämolaren und der Incisivi angegeben sein. Studien ohne Angabe der Standardabweichung konnten nicht in die Analyse eingebunden werden, da diese Angabe für die Errechnung des Therapieeffektes unabdingbar ist.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Ein- und Ausschlusskriterien wurden 9 Artikel herausgefiltert, welche sich mit implantatgestützten kieferorthopädischen Apparaturen befassten. Da in zwei Artikeln jeweils zwei Studienpopulationen getrennt ausgewertet wurden, wurden insgesamt 11 verschiedene Datensätze ausgewählt.

Autor (en)/ Artikel	Erscheinungs-jahr	Fall-zahl	Apparatur	Titel
I E Gelgor et al.	2004	25	Coil springs	Intraosseous Screw-supported Upper Molar Distalization
Ö Polat-Ozsoy	2008	22	Pendulum	Pendulum appliances with 2 anchorage designs: Conventional anchorage vs. bone anchorage
M A Cornelis und HJ DeClerck	2007	17		Maxillary molar distalization with miniplates assessed on digital models: A prospective clinical trial
G S M Kinzinger et al.	2009	10	Distal jet	Efficiency of a skeletonized distal jet appliance supported by mini-screw anchorage for Non-compliance maxillary molar distalization
G Öncag et al.	2007	15	Pendulum	Osseointegrated implants with pendulum springs for maxillary molar Distalization: A cephalometric study
S A Escobar et al.	2007	15	Pendulum	Distalization of maxillary molars with the bone-supported pendulum: A clinical trial
B H Kircelli et al.	2006	10	Pendulum	Maxillary Molar Distalization with a Bone-anchored Pendulum Appliance
G Oberti et al.	2009	16	Dual-force Distalizer (DFD)	Maxillary molar Distalization with the dual force Distalizer supported by mini-implants: A clinical study
I E Gelgor et al.	2007	20/ 20	Vestibular force vector / palatinal force vector coil springs	Comparison of 2 distalization systems supported by Intraosseous screws

Tab. 1: Übersicht über in die Metaanalyse einbezogene Studien

In die Metaanalyse wurden folgende Studien einbezogen:

In einer Untersuchung, welche Gelgör et al. 2004 ¹⁶ durchführten, wurden zum einen die Effektivität von in den Gaumen inserierten Schrauben als Verankerungselemente für die Molarendistalisation und zum anderen die sagittalen und vertikalen Veränderungen

während der Molarendistalisation mit implantatverankerten Apparaturen überprüft. Hierbei sind die sagittalen und vertikalen skelettalen sowie dentalen Veränderungen nach der Distalisation gemessen worden ¹⁶.

Dazu wurden 25 Patienten mit Neutralbisslage und Distalokklusion in die Studie einbezogen. Weitere Einschlusskriterien dieser Studie waren ein minimaler oder fehlender Engstand im Unterkieferzahnbogen und die Ablehnung einer Headgear-Apparatur durch die Patienten.

In der Studie wurde zur Verankerung ein Implantat der Firma IMF Stryker, Leibinger mit einem Durchmesser 1,8 mm und einer Länge von 14 mm verwendet.

Das Implantat wurde 5 mm distal des Foramen incisivum in 3 mm Abstand zur Raphe palatina inseriert.

Nach der Abheilphase erhielten die ersten Prämolaren sowie die ersten Molaren eine Bebänderung. Die ersten Prämolaren wurden durch einen Transversalbügel mit einem „U“-Band an das Implantat angeschlossen. In derselben Sitzung erfolgte das Einsetzen der Distalisationsapparatur in Form von beidseitigen Teilbögen und open-coil-springs. Jeweils zwischen Prämolaren und Molaren wurde eine Kraft von 250 g angelegt.

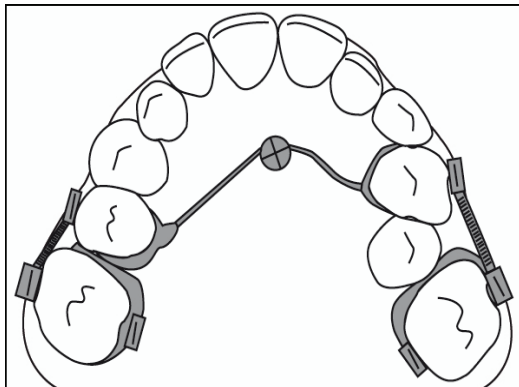


Abb.2: Situation nach Anlegen der Distalisationsapparatur

Sobald beide ersten Molaren in eine um 2 mm überkorrigierte Klasse II - Verzahnung überführt waren, wurden die Prämolarenbänder entfernt und die Apparatur in einen modifizierten Nance-Bogen umgewandelt.

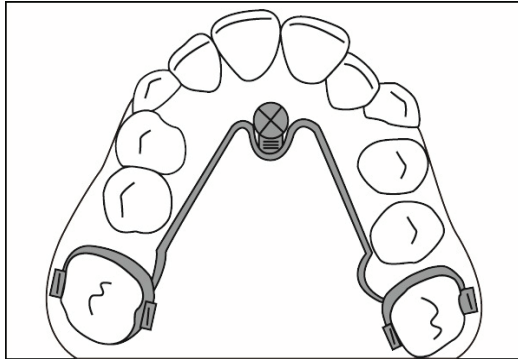


Abb.3: Situation nach der Distalisation

Die Auswertung der Studienergebnisse erfolgte über eine kephalometrische Messung. Schlussendlich lagen Werte der Distalisation, Mesialisierung und Kippung in mm beziehungsweise Grad vor¹⁶.

In der Studie von Polat-Ozsoy et al.³⁷ aus dem Jahr 2008 wurden die dentalen und skelettalen Effekte einer knöchern verankerten Pendulum-Apparatur und einer konventionell verankerten Pendulum-Apparatur miteinander verglichen.

Die Rekrutierungszahl bestand aus 39 Patienten insgesamt, von welchen 22 Patienten mit einer skelettal verankerten und 17 Patienten mit einer konventionellen Verankerungseinheit behandelt wurden. In die Metaanalyse wurde nur die erste Gruppe einbezogen. Die Einschlusskriterien dieser Studie bestanden neben einer guten Mundhygiene in einer dentalen Klasse II - Verzahnung mit geringem oder fehlendem Engstand des unteren Zahnbogens und einem moderaten Engstand innerhalb des oberen Zahnbogens.

Zur skelettalen Verankerung nutzten die Autoren Implantate (IMF intermaxillary fixation screw; Stryker, Leibinger) mit einem Durchmesser von 2,0 mm und einer Länge von 8,0 mm. Diese wurden in der vorderen Gaumenregion paramedian inseriert. Dabei betrugen der Abstand zum Foramen incisivum 4 bis 6 mm und der Abstand zur Raphe palatina 3 bis 4 mm. Bei 9 Patienten erfolgte die Implantation beider Schrauben einseitig rechts oder links, in 11 Fällen wurden die Schrauben jeweils rechts und links implantiert.

Nach der Abheilung wurden die Schrauben mit einer modifizierten Pendulum-Apparatur nach Hilgers ohne Verbindungselemente auf den Okklusalfächen der Prämolaren und mit Unterstützung durch eine Kunststoffpelotte verbunden. Auf der palatinalen Seite der Molarenbänder wurden die Pendelfedern eingesetzt und mit einer Kraft von 230 g aktiviert.

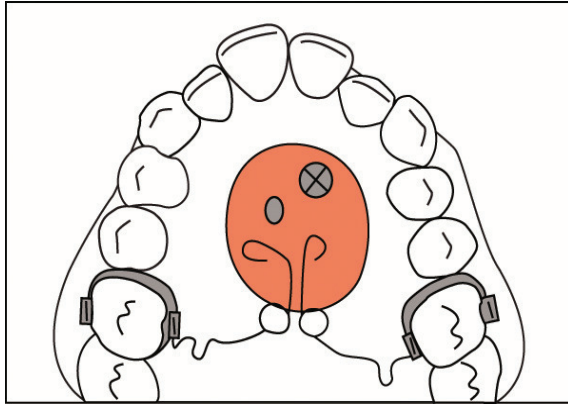


Abb 4: Modifizierte Pendulum-Apparatur vor der Distalisation

Die Ergebnisse der Distalisation wurden kephalometrisch als Veränderung zwischen dem Zeitpunkt T1 (zu Beginn der Behandlung) und T2 (nach erfolgter Distalisation) gemessen ³⁷.

Marie Cornelis und Hugo De Clerck¹⁰ beschrieben in ihrer 2007 veröffentlichten Studie die Effekte einer Molarendistalisation mit skelettal verankerten Miniplatten und einer bukkalen Kraftapplikation. In die Untersuchung wurden 17 erwachsene Patienten mit Neutralbisslage und Distalokklusion einbezogen. Weitere Einschlusskriterien war ein geringer oder fehlender Engstand im Unterkieferzahnbogen sowie vorhandene 1. und 2. Oberkiefermolaren in dentaler Klasse II - Verzahnung. Zwei Monate vor Beginn der chirurgischen Behandlung erfolgte eine Vorbehandlung, in welche die ersten und zweiten Molaren sowie Eckzähne und labial engstehende Oberkieferinzisivi einbezogen wurden.

In der chirurgischen Behandlungsphase wurden am Jochbein in 15 Fällen beidseitig, in zwei Fällen nur einseitig Miniplatten unter Lokalanästhesie eingesetzt.

Drei Wochen nach der Insertion der Miniplatten erfolgte eine Kraftapplikation von 150 g zwischen den Miniplatten und der Gleitmechanik vor den geschlossenen Federn.

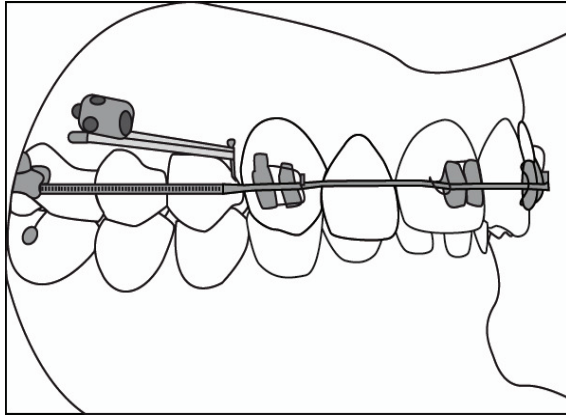


Abb 5: Schematische Darstellung der Apparatur mit bukkalem Kraftansatz

Die Auswertung erfolgte durch eine Software anhand der Vermessung von Gipsmodellen vor und nach der Distalisation. Die unbehandelten Unterkieferzahnbögen wurden ebenfalls vermessen und mit drei festgelegten Punkten in die Auswertung der Distalisation der Oberkiefermolaren einbezogen¹⁰.

In der in die Metaanalyse einbezogenen Untersuchung von Kinzinger et al. (2009)²⁶ wurden zur Distalisation zwei Minischrauben mit dem Distal Jet kombiniert verwendet. Ziel der Studie war in diesem Fall eine Beurteilung der translatorischen Molarendistalisation bei unterstützend skelettal verankerten Apparaturen und gleichzeitig eine Beurteilung der Verankerungsqualität dieser skelettalen Verankerung. In die Untersuchung wurden 10 Patienten einbezogen, welche bilateral Klasse - II - Verzahnungen und Diskrepanzen in den Zahnbogenlängen aufwiesen.

Nach einer Röntgendiagnostik zur Bestimmung der Schraubenlängen erfolgte unter Lokalanästhesie die Insertion zweier Minischrauben mit einer Länge zwischen 8 und 9 mm und einem Durchmesser von 1,6 mm (Forestadent, Pforzheim/ Dual Top System; Jeil Medical Corporation). Der Implantationsort lag paramedian im vorderen Bereich des Gaumens auf Höhe der ersten Prämolaren. Alle Implantate wurden auf Primärstabilität hin überprüft und nach einer Einheilphase von einer Woche belastet.

Die in dieser Studie verwendete Distalisationsapparatur bestand in einer Distal Jet - Apparatur, in welcher die palatinale schleimhautgetragene Abstützung in Form des Acrylbuttons entfernt und durch die Minischraubenverankerung ersetzt wurde. Eine dentale zusätzliche Abstützung erfolgte auf den ersten Prämolaren mit okklusalen Drahtauflagen.

Der so entstandene Verankerungsblock bestand somit in einer parodontal einwirkenden Kraft unterstützt durch Minischrauben.

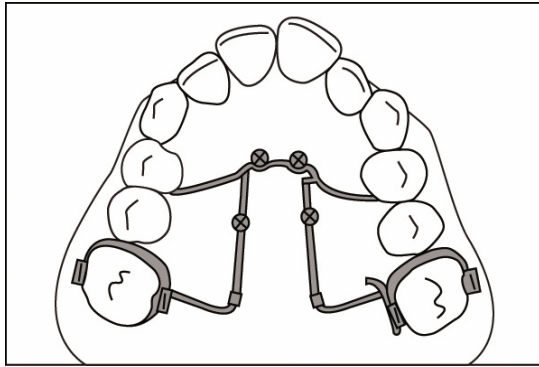


Abb. 6: Angelegte Apparatur vor der Distalisation

Die Distalisationsapparatur wurde mit 200cN belastet und alle 4 Wochen nachaktiviert.

Zur Auswertung wurden sowohl Gipsmodelle vor und nach der Behandlung angefertigt als auch kephalometrische Auswertungen herangezogen ²⁶.

In der Studie von Oncag et al. ³⁶ wurden die Effekte einer skelettal verankerten Pendulum-Apparatur denen einer konventionell verankerten Pendulum-Apparatur gegenübergestellt. Es sollte auf diesem Wege ein Vergleich unerwünschter Nebeneffekte, vor allem der Verankerungsverluste durch Mesialwanderungen der anterioren Zahngruppe während der Distalisationsphase in beiden Gruppen verglichen werden. Die Patientengruppe bestand aus 15 konventionell mit Pendelfedern behandelten Patienten und aus 15 Patienten, welche mit einer implantatgestützten Apparatur behandelt wurden. In beiden Gruppen galten dieselben Einschlusskriterien: Dentale Klasse II - Verzahnung bei skelettaler Neutralbisslage, keine Extraktionen im Behandlungsplan vorgesehen, gute Mundhygiene und keine craniomandibuläre Dysfunktion. Innerhalb der Gruppen wurden die rechte und die linke Seite der Patienten getrennt ausgewertet.

In die vorliegende Metaanalyse wurde nur die Patientengruppe, welche mit der skelettal verankerten Apparatur behandelt wurde, einbezogen. Nach röntgenologischer Auswertung des palatinalen Knochenangebots wurden die Implantate seitlich der Raphe palatina in den anterioren Gaumen inseriert. Es wurde jeweils ein Implantat der Fa. Camlog mit einer Länge von 9 mm und einem Durchmesser von 3,8 mm gesetzt und mit einer Einheilschraube für die Dauer von 10 Wochen abgedeckt, um eine Osseointegration zu erreichen. Die Autoren applizierten eine modifizierte Hilgers-Pendulum-Apparatur. Hierbei wurde auf die schleimhautgetragene Abstützung durch eine Pelotte im Gaumen sowie auf eine dentale Abstützung auf den Prämolaren

verzichtet, so dass das Implantat als alleiniges Verankerungselement fungierte. Nach vollständiger Osseointegration wurde die Apparatur mit 300 g aktiviert.

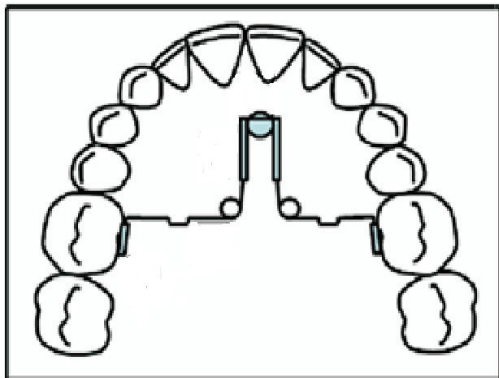


Abb. 7: Eingesetzte modifizierte Hilgers-Apparatur vor der Distalisation

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe von eingesetzten Referenzdrähten über eine kephalometrische Diagnostik ³⁶.

Escobar et al. ¹³ beschrieben in ihrer 2007 veröffentlichten Studie eine mit zwei Implantaten verankerte Pendulum-Apparatur zur Molarendistalisation. Es wurden die Ergebnisse der Molarendistalisation an 15 Patienten ausgewertet. Die Einschlusskriterien für die untersuchten Fälle waren eine dentale Klasse II - Verzahnung bei skelettalen Klasse I - Beziehungen.

Die Distalisierungsapparatur bestand in einem durch Doppel-Schleifen modifizierten Hilgers Pendulum. In die palatinale Acrylplatte wurden Halterungen für die Schleifen eingearbeitet. Als Referenzpunkte für die radiologische Diagnostik erhielten Prämolaren und erste Molaren Metallknöpfchen. Es wurden jeweils 2 Implantatschrauben der Länge 11 mm und mit einem Durchmesser von 2,0 mm (Mondeal Medical Systems, Tuttlingen) paramedian der Sutura eingesetzt. Die Federn wurden mit einer Kraft von 250 g belastet.

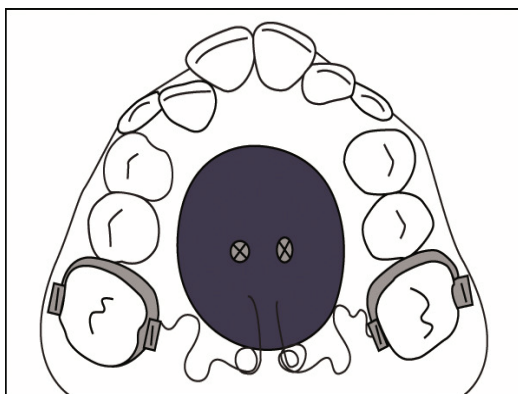


Abb 8: Angelegte Apparatur vor der Distalisation

Die Autoren bestimmten die Position der Molaren und Prämolaren vor und nach der Überführung in eine überkorrigierte Klasse I-Verzahnung radiologisch sowie über angefertigte Gipsmodelle. Die Applikationen wurden für die Retentionsphase belassen¹³.

Auch die Untersuchung von Kircelli et al.²⁷ hatte eine von der Compliance unabhängige Molarendistalisation ohne Verankerungsverluste durch unbeabsichtigte Nebeneffekte zum Ziel. Es sollte hier die Stabilität der skelettalen Verankerung durch Schrauben untersucht werden. Die Gruppe bestand aus 10 Patienten mit Klasse II - Verzahnung und moderatem Engstand der anterioren Oberkieferzahngruppe.

Es erfolgte die Insertion einer Implantatschraube mit einer Länge von 8 mm und einem Durchmesser von 2,0 mm (IMF intermaxillary Fixation Screw, Stryker, Leibinger), deren Lokalisation 7-8 mm posterior des Foramen Inc. 3-4 mm paramedian der Sutur angelegt wurde.

Bei 2 Patienten erfolgte eine Insertion beidseitig, bei 8 Patienten einseitig. Die primärstabilen Implantate wurden mit einer Pendulum-Apparatur nach Hilgers verbunden, in welcher die Verbindungsdrähte zu den Okklusalfächen der Prämolaren fehlten. Eine Aktivierung der palatinal angeschlossenen Federn erfolgte parallel zur palatinalen Sutur.

Die Auswertung wurde nach Erreichen einer überkorrigierten Klasse II - Verzahnung anhand von Röntgenaufnahmen sowie angefertigter Modelle vorgenommen²⁷.

Oberti et al.³⁴ untersuchten 2009 eine Gruppe von 16 Patienten bezüglich der klinischen Effekte skelettal gestützter Molarendistalisation. In die Untersuchung einbezogen wurden Patienten, welche eine dentale Klasse II - Verzahnung mit unterschiedlichen Ausprägungsgraden eines Engstandes der anterioren Oberkieferzähne aufwiesen. Zusätzliche Kriterien, um an der Untersuchung teilzunehmen, waren Kariesfreiheit sowie das Fehlen parodontal pathologischer Befunde und systemischer Erkrankungen.

Die Autoren inserierten 2 Minischrauben von 1 mm Länge und einem Durchmesser von 2 mm (Mondeal Medical Systems, Tuttlingen) im Bereich des anterioren Gaumens. Diese wurden in eine Acrylplatte integriert und beidseitig mit je zwei Drähten versehen, welche jeweils palatinal sowie vestibulär in Bänder der ersten Molaren geführt wurden.

Die Aktivierung erfolgte vestibulär und palatinal mit einer Kraft von 250-300 g. Im Unterschied zu im Vorfeld beschriebenen Studien wurden somit Kräfte sowohl palatinal als auch bukkal wirksam. Die Kontrollen erfolgten monatlich und die Apparatur wurde nach Bedarf reaktiviert.

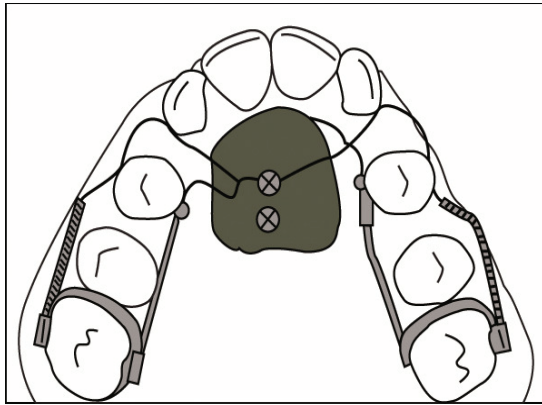


Abb. 9: Schematische Darstellung der Distalisationsapparatur

Nach der gelungenen Überführung in eine dentale Klasse II entfernten die Autoren die vestibulären Drähte. Der Dual Force Distalizer wurde als feste Apparatur belassen, bis auch die Prämolaren und die Eckzähne in korrekter Position standen.

Im Ergebnis wurden die Positionsveränderungen der Molaren, der zweiten Prämolaren sowie der Incisiven röntgenologisch und über Gipsmodelle ermittelt³⁴.

Die Studie mit der größten untersuchten Patientengruppe wurde 2007 von Gelgör et al.¹⁷ durchgeführt. Es wurden 40 Patienten einbezogen und in zwei Gruppen eingeteilt. Einschlusskriterien der Studie lagen in einer skelettalen Klasse I - Zugehörigkeit bei dentaler Klasse II - Verzahnung und einem geringen bis gar nicht vorhandenen Frontengstand im Unterkiefer. In allen Fällen wurde kein Headgear getragen. In beiden Patientengruppen erfolgte eine Insertion einer intraossären Schraube mit einer Länge von 14 mm und einem Durchmesser von 1,8 mm (IMF Stryker, Leibinger) in sicherer Entfernung zum Foramen der palatinalen Anatomie folgend paramedian der Suture¹⁷.

Nach Abheilung erfolgte in der ersten Gruppe eine Verbindung mit einer Apparatur mit vestibulärer Kraftapplikation, welche zwischen dem ersten Prämolaren und dem ersten Molaren ansetzte. Die Aktivierung erfolgte mit einer Kraft von 250 g.

In der zweiten Gruppe wurde eine 5 mm vom marginalen Gingivasaum entfernte palatinal an den Molarenbändern ansetzende Apparaturen mit zusätzlicher schleimhautgetragener Verankerung in Form einer palatinalen Acrylplatte eingesetzt.

Auf den ersten Prämolaren wurde eine zusätzliche Drahtabstützung aufgebracht. Die Aktivierung erfolgte hier ebenfalls mit einer Kraft von 250 g.

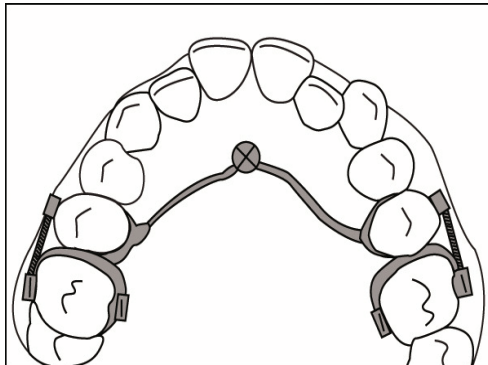


Abb. 10: Schematische Darstellung der Apparatur

Die Patienten befanden sich alle 4 Wochen in einer Nachkontrolle, wobei - wenn erforderlich - reaktiviert wurde. Nach Erreichen einer um etwa 2 mm überkorrigierten Klasse II - Verzahnung entfernten die Autoren in der ersten Gruppe die Prämolarenbänder. Die Apparatur wurde in einen Nance-Bogen umgewandelt. In der zweiten Gruppe wurden die Drahtabstützungen der Prämolaren entfernt; auch diese wurde in einen modifizierten Nance-Bogen abgeändert.

Verglichen wurden die Ergebnisse der Positionsveränderungen der ersten Molaren, Prämolaren und der zentralen Incisiven sowohl durch kephalometrische Vermessung als auch durch Vermessung der angefertigten Gipsmodelle.

Die Patientengruppen unterschieden sich in einer in der zweiten Gruppe zusätzlich verwendeten schleimhautgetragenen Abstützung in Form einer Nance-Pelotte. In der ersten Gruppe wurde auf eine schleimhautgetragene Abstützung verzichtet¹⁷

3.2. Statistisches Verfahren zur Durchführung der Metaanalyse

Die Metaanalyse ermöglicht mittels statistischer Verfahren einen objektiven Vergleich und die Integration von Ergebnissen mehrerer Studien. Dadurch können die Ergebnisse der Metaanalyse in einer Gesamtstudie zusammengefasst werden. Die Effektgrößen aller einbezogenen Einzelstudien werden gemittelt und ein Gesamteffektgrößenmaß berechnet. Die Effektgrößen sind ein Maß für die Stärke des Zusammenhangs oder der Unterschiede der untersuchten Variablen.

Von besonderer Bedeutung für die Objektivität der Metaanalyse ist die in Kapitel 3.1. beschriebene Festlegung der Auswahlkriterien der einbezogenen Primärstudien.

Die Effektgrößen der einzelnen Studien müssen dafür in ein universelles Effektgrößenmaß, dem Standardtherapieeffekt, transformiert werden. Die Methodik zur Durchführung der Metaanalyse erfolgte den Vorgaben nach Hedges und Olkin ²¹.

Die angewandte Formel hierzu lautet:

$$\text{Standardtherapieeffekt } d(s) = [M(Z2) - M(Z1) / SD(\text{gemeinsam})]$$

Hierbei ist M(Z2) der Messwert zum Zeitpunkt 2 nach der Krafteinwirkung und M(Z1) der Ausgangsmesswert zum Zeitpunkt 1 vor der Krafteinwirkung (Distalisation, Mesialisierung, Intrusion, Angulation).

Da eine Kontrollgruppe in den vorliegenden Studien nicht vorhanden war, wurde der Zeitpunkt 1 als Wert für die Ausgangs- bzw. unveränderte Situation angesehen. Als Effekt (Distalisation, Mesialisierung, Intrusion, Angulation) wird somit jeweils die Differenz zwischen den Werten zum Zeitpunkt 1 und zum Zeitpunkt 2 errechnet.

Es ergibt sich daraus die Formel für die Errechnung des Standardtherapieeffektes:

$$\text{Standardtherapieeffekt } d(s) = M(\text{Effekt}) / SD(\text{Effekt})$$

Das Konfidenzintervall δ berechnet sich durch nachfolgend aufgeführte Formel:

$$\delta(u) = d(s) - [C(\alpha/2) * \hat{\sigma}(d)] \quad \text{und} \quad \delta(u) = d(s) + [C(\alpha/2) * \hat{\sigma}(d)]$$

$C(\alpha/2)$ ist 1,96 (bei einem 95%-igen Quantil $(1 - \alpha/2)$ mit Irrtumswahrscheinlichkeit

$\alpha=5\%$).

$\hat{\sigma}(d)$ ist die Standardabweichung des Standardtherapieeffektes und lässt sich wie folgt ermitteln:

$$\hat{\sigma}(d) = \sqrt{(8+d^2)/4n}$$

n ist die Anzahl der untersuchten Objekte.

Für die Errechnung des Gesamttherapieeffektes gilt die folgende Formel:

$$d(t) = \frac{\sum [d_i / \hat{\sigma}^2(d_i)]}{\sum [1 / \hat{\sigma}^2(d_i)]}$$

Die Summe der Einzeleffekte ist definiert über $\sum_{i=1 \text{ bis } k}$.

Daraus ergibt sich die Gesamtstandardabweichung des Gesamttherapieeffektes $\hat{\sigma}(dt)$:

$$\hat{\sigma}^2(dt) = \frac{1}{\sum 1 / \hat{\sigma}^2(d_i)} \quad \text{für} \quad \sum_{i=1 \text{ bis } k}$$

Das 95 % Konfidenzintervall des Gesamttherapieeffektes $\delta(t)$:

$$\delta(ut) = d(t) - [C(\alpha/2) * \hat{\sigma}(d)] \quad \text{und} \quad \delta(ut) = d(t) + [C(\alpha/2) * \hat{\sigma}(dt)]$$

mit $C(\alpha/2) = 1,96$

Die Formeln entstammen den „Statistical Methods for Meta-Analysis“ von Hedges und Olkin²¹. Als Software zur Berechnung des Standardtherapieeffektes mit Standardabweichung und Konfidenzintervall sowie des Gesamttherapieeffektes mit Standardabweichung und Konfidenzintervall wurde SPSS für Windows, Version 19.0 (SPSS Inc., U.S.A.) verwendet. Die errechneten Standard- und Gesamttherapieeffekte sowie deren Standardabweichungen und Konfidenzintervalle wurden grafisch in Hoch-

Tief-Diagrammen mit Achsentransposition dargestellt, wobei diese Funktion ebenfalls von SPSS übernommen wurde.

Die deskriptive Auswertung mit Berechnung der Fallzahlen, der Behandlungsdauer und des mittleren Kraftaufwandes erfolgte ebenfalls mit SPSS. Die Darstellung der kontinuierlichen Variablen erfolgte als Mittelwerte und Mediane, während als Streumaße die Standardabweichungen und Quartile dienten. Zur Veranschaulichung der Verteilung der Variablen wurden Histogramme erstellt.

3.3. Verschiedene Analysemethoden

In allen in die Metaanalyse einbezogenen Studien erfolgte die Auswertung über die Analyse von Fernröntgenseitenbildern zum Zeitpunkt 1 vor der Therapie und zum Zeitpunkt 2 nach der Therapie. Im Ergebnis lagen die therapiebedingten dentalen horizontalen, vertikalen und angulären Veränderungen als Differenzbetrag zwischen beiden Zeitpunkten vor.

Für die sagittalen dental-linearen Parameter wurden in den vorliegenden Studien die folgenden Bezugsebenen gewählt:

- SN (vordere Schädelbasis; Referenzpunkte hier sind Sella [Mittelpunkt der Sella turcica] und Nasion [Übergang des Os nasale an der Sutura nasofrontalis])
- PTV (Pterygoidvertikale, Senkrechte auf FH [Frankfurter Horizontale, Verbindung zwischen dem am weitesten kranial gelegenen Punkt des Porus acusticus externus und dem kaudalsten Punkt des Infraorbitalrandes] durch den Punkt Pt [der am weitesten kranial und posterior gelegene Punkt der pterygo-maxillären Fissur])
- VR (Vertikale Referenzlinie senkrecht auf FH [Frankfurter Horizontale, Verbindung zwischen dem obersten Punkt des Porus acusticus externus und dem Punkt, der am weitesten kaudal des Infraorbitalrandes liegt] durch den T-Punkt [höchster Punkt der vorderen Wand der Sella turcica] verlaufend
- Y-Achse (Senkrechte auf FH [Frankfurter Horizontale] durch den Punkt S [konstruierter Mittelpunkt der knöchernen Kontur der Sella turcica])

Die folgenden Referenzebenen dienen der Messung der vertikalen dental-linearen Parameter:

- PP (Palatinalenebene / Oberkieferbasis [Verbindung zwischen Spina nasalis anterior und Spina nasalis Posterior])
- FH (Frankfurter Horizontale, Verbindung zwischen Porion [der am weitesten kranial gelegene Punkt des Forus acusticus externus] und Orbitale [der am weitesten kaudal gelegene Punkt des knöchernen Orbitalrandes])

Grundlage zur Bestimmung der angulären Messwerte waren die Bezugsebenen

- HR (konstruierte Horizontale, welche durch den Punkt Sella [konstruierter Mittelpunkt der knöchernen Kontur der Sella turcica] 7° unterhalb der FH (Frankfurter Horizontale [Verbindung zwischen Porion und Orbitale])) verläuft
- PP (Palatinalenebene/Oberkieferbasis [Verbindung zwischen Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior])
- SN (vordere Schädelbasis, Referenzpunkte sind Sella und Nasion)
- FH (Frankfurter Horizontale, verläuft durch Porion und Orbitale)

Die dentalen Referenzpunkte variieren zwischen den Höckerspitzen der Molaren, der Schneidekante bei den Incisiven und dem Zahnmittelpunkt, dem Zentroid.

Da jedoch die Relation zwischen den Änderungsdifferenzen unabhängig von der Lokalisation des Messpunktes in sich konstant bleibt, können diese Unterschiede für die Metaanalyse unberücksichtigt bleiben.

4. Ergebnisse

4.1 Basisdaten

4.1.1 Veröffentlichungsjahr

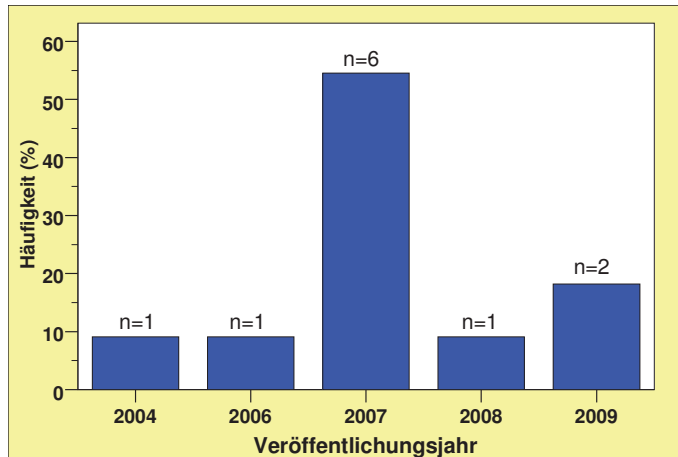


Abb. 11: Veröffentlichungsjahre der Studienkollektive zur Molarendistalisation

In Abbildung 11 sind die einzelnen Veröffentlichungsjahre der Artikel zur Molarendistalisation dargestellt. Hierbei wird ersichtlich, dass mehr als die Hälfte der Artikel (50 %; $n = 6$) im Jahre 2007 publiziert wurden, während zwei Artikel aus dem Jahr 2009 stammen. In den übrigen Jahren sind die Studien zur skelettal gestützten Molarendistalisation mit nur jeweils einer Publikation (9,1%) vertreten.

4.1.2 Fallzahl

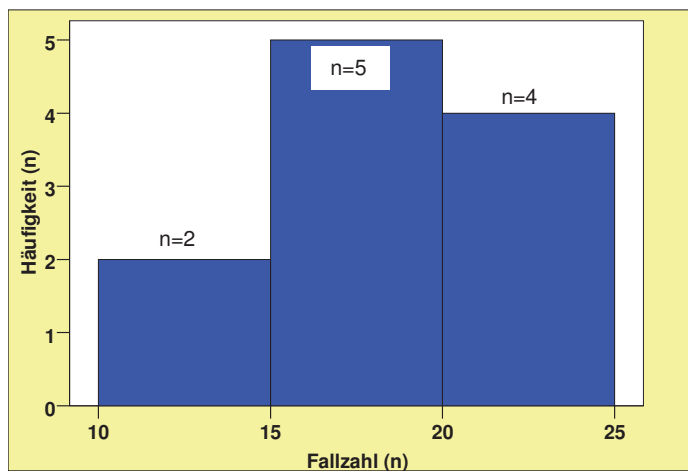


Abb. 12: Fallzahl der Studien zur Molarendistalisation

Die in Abbildung 12 dargestellten Fallzahlen der der Metaanalyse zugrunde liegenden Studien lagen zwischen 10 und 25 Patienten, wobei ein Mittelwert von $16,8 \pm 4,7$ (Median 16,0) Patienten beobachtet wurde.

4.1.3 Behandlungsdauer

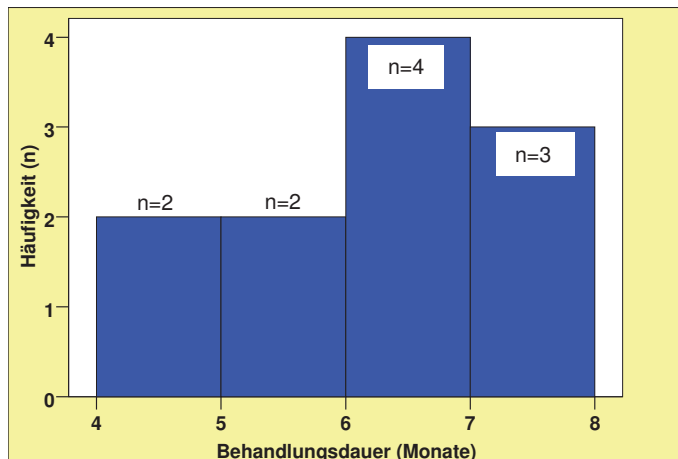


Abb. 13: Behandlungsdauer mit skelettal verankerten Apparaturen

Abbildung 13 gibt die unterschiedliche Behandlungsdauer innerhalb der einzelnen Studien wieder. Hierbei wird ersichtlich, dass die Publikationen einen Beobachtungszeitraum zwischen 4,6 und knapp 8 Monaten angaben. Die mittlere Behandlungsdauer aller Studien lag bei $6,2 \pm 1,1$ Monaten (Median 6,7), wobei der Häufigkeitsgipfel zwischen 6 – 7 Monaten lag.

4.1.4 Initialer Kraftaufwand

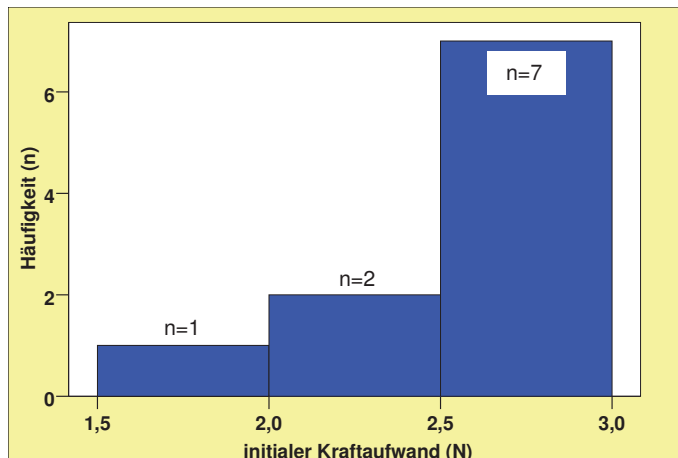


Abb. 14: Initialer Kraftaufwand zur Molarendistalisation bei skelettaler Verankerung

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
1,5	1	9,1	10,0
2,0	1	9,1	10,0
2,3	1	9,1	10,0
2,5	4	36,4	40,0
2,8	1	9,1	10,0
3,0	2	18,2	20,0
Gesamt	10	90,9	100,0
Fehlend	1	9,1	
Gesamt	11	100,0	

Tab. 2: Initialer Kraftaufwand zur Molarendistalisation bei skelettaler Verankerung (N)

Der in Abbildung 14 dargestellte initiale Kraftaufwand lag zwischen 1,5 und 3,0 N. In einer Untersuchung wurde der geringste Kraftaufwand von 1,5 N aufgewandt, 2 Untersucher hielten einen Kraftaufwand zwischen 2,0 und 2,5 N für angemessen und der größte Anteil der Studien ($n = 7$) arbeitete mit der höchsten Belastung von 2,5 bis 3 N. Der Mittelwert betrug $2,5 \pm 0,5$ N bei einem Median von 2,5 N.

4.2 Dental-lineare Veränderungen

4.2.1 Distalisation

4.2.1.1 Distalisation der Molaren

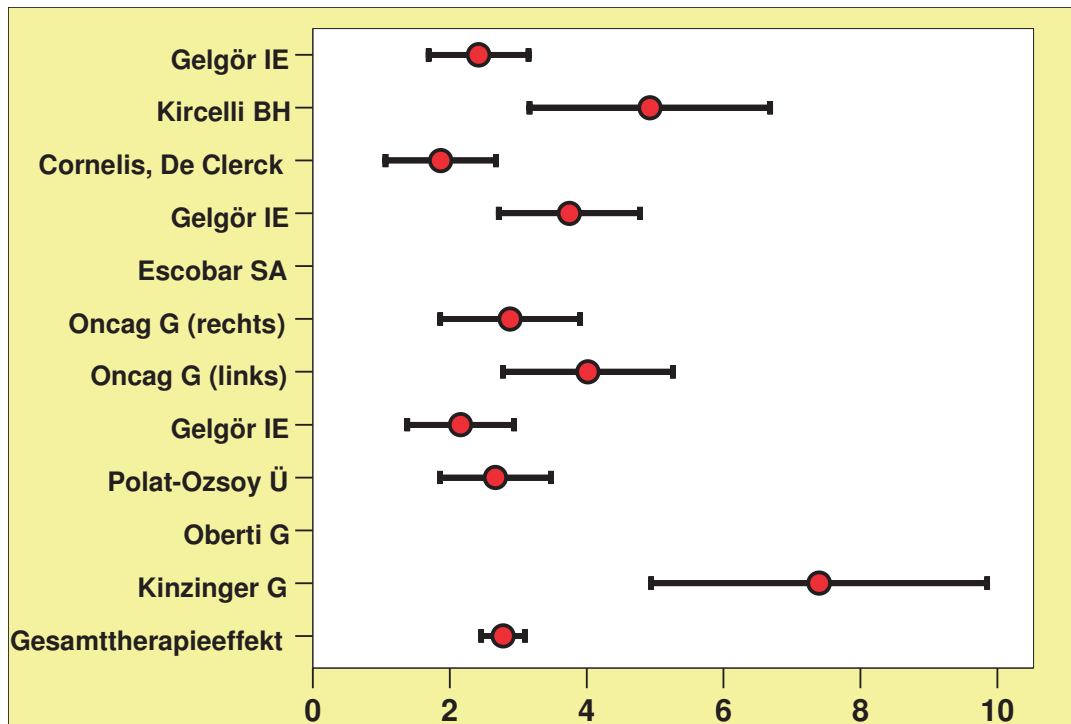


Abb.15: Distalisation der Molaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Distalisation Molaren (mm)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Gelgör IE	25	SN	3,90±1,61	2,42±0,37	1,69 - 3,15
Kircelli BH	10	PTV	6,40±1,30	4,92±0,90	3,16 - 6,68
Cornelis, De Clerck	17		3,27±1,75	1,87±0,41	1,06 - 2,67
Gelgör IE	20	PTV	3,86±1,03	3,75±0,52	2,72 - 4,78
Escobar SA	15	Y-Achse			
Oncag G (rechts)	15	PTV	3,40±1,18	2,88±0,52	1,86 - 3,90
Oncag G (links)	15	PTV	4,50±1,12	4,02±0,63	2,77 - 5,26
Gelgör IE	20	PTV	4,90±2,27	2,16±0,40	1,38 - 2,94
Polat-Ozsoy Ü	22	VR	4,80±1,80	2,67±0,41	1,85 - 3,48
Oberti G	16	PTV			
Kinzinger G	10	PTV	3,92±0,53	7,40±1,25	4,94 - 9,85

Tab. 3: Distalisation der Molaren in verschiedenen Studien

Der berechnete Gesamttherapieeffekt betrug $2,78 \pm 0,17$ [CI 2,46 – 3,10].

In Abbildung 15 sind der Standardtherapieeffekt im Hinblick auf die Molarendistalisation sowie der berechnete Gesamttherapieeffekt dargestellt. Hierbei wird ersichtlich, dass die berechneten Standardtherapieeffekte eine weite Spanne aufwiesen. Der geringste Standardtherapieeffekt wurde bei Cornelis und De Clerck et al. mit $1,87 \pm 0,41$ erzielt, während der größte Standardtherapieeffekt bei Kinzinger et al. berechnet wurde und um ein Vielfaches höher bei $7,40 \pm 1,25$ lag. Den sehr unterschiedlichen Standardtherapieeffekten lagen ebenso divergierende Ergebnisse der Primärmessungen der Molarendistalisation zugrunde, deren geringster Betrag in einer Messung von Cornelis und De Clerck et al. bei $3,27 \pm 1,75$ mm gemessen wurde und in einer Messung von Kircelli et al einen Maximalwert von $6,4 \pm 1,30$ mm erreichte.

Bei der Analyse von Tabelle 3 fällt auf, dass die primär gemessenen Effekte der Molarendistalisation nicht deckungsgleich zu den berechneten Standardtherapieeffekten waren, da die ausgewiesenen Standardabweichungen in den verschiedenen Untersuchungen sehr unterschiedlich waren. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Studie von Kinzinger et al. auffällig, da hier die mit Abstand geringste Standardabweichung auftrat und somit die gemessenen Effekte homogen für das Patientenkollektiv anzusehen ist.

Der berechnete Gesamttherapieeffekt aller Studien lag bei $2,78 \pm 0,17$ [Konfidenzintervall $2,46 - 3,10$].

Bei den Untersuchungen von Escobar et al. und Oberti et al. wurde die Distalisation der Molaren unterteilt in die Distalisationswerte für die Krone und die Distalisationswerte für die Furkation. Hierzu sei auf die folgenden Abbildungen 16 und 17 verwiesen.

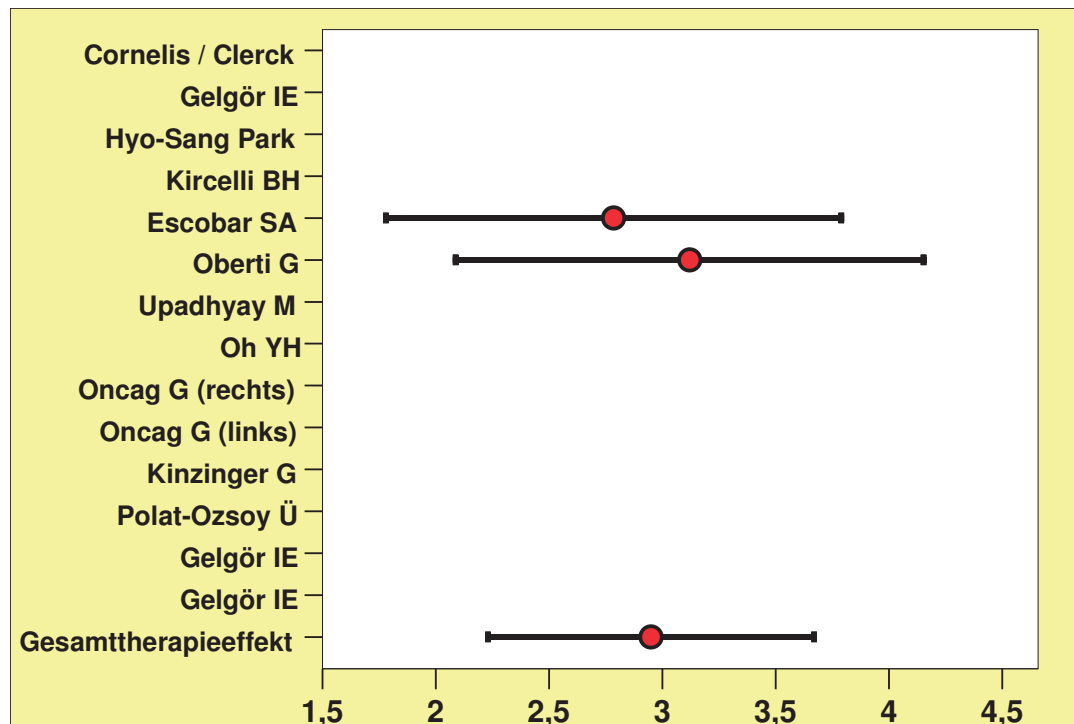


Abb. 16: Distalisation der Furkation in zwei Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Distalisation Furkation (mm)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Cornelis MA, De Clerck HJ	17				
Gelgör IE	25				
Kircelli BH	10				
Escobar SA	15		4,15±1,49	2,79±0,51	1,78 - 3,79
Oberti G	16		4,40±1,41	3,12±0,53	2,09 - 4,15
Oncag G (re)	15				
Oncag G (li)	15				
Kinzinger G	10				
Polat-Ozsoy Ü	22				
Gelgör IE	20				
Gelgör IE	20				

Tab. 4: Distalisation der Furkation in zwei Studien

Der berechnete Gesamttherapieeffekt betrug $2,95 \pm 0,37$ [CI 2,23 – 3,67].

In Abbildung 16 ist die Distalisation der Molarenwurzeln dargestellt. Hier wurde der Messpunkt in den Bereich der Furkation der Molaren gelegt.

Die Standardtherapieeffekte lagen bei $2,79 \pm 0,15$ und $3,12 \pm 0,53$, der Gesamttherapieeffekt betrug $2,95 \pm 0,37$ und das Konfidenzintervall lag bei 2,23 - 3,67.

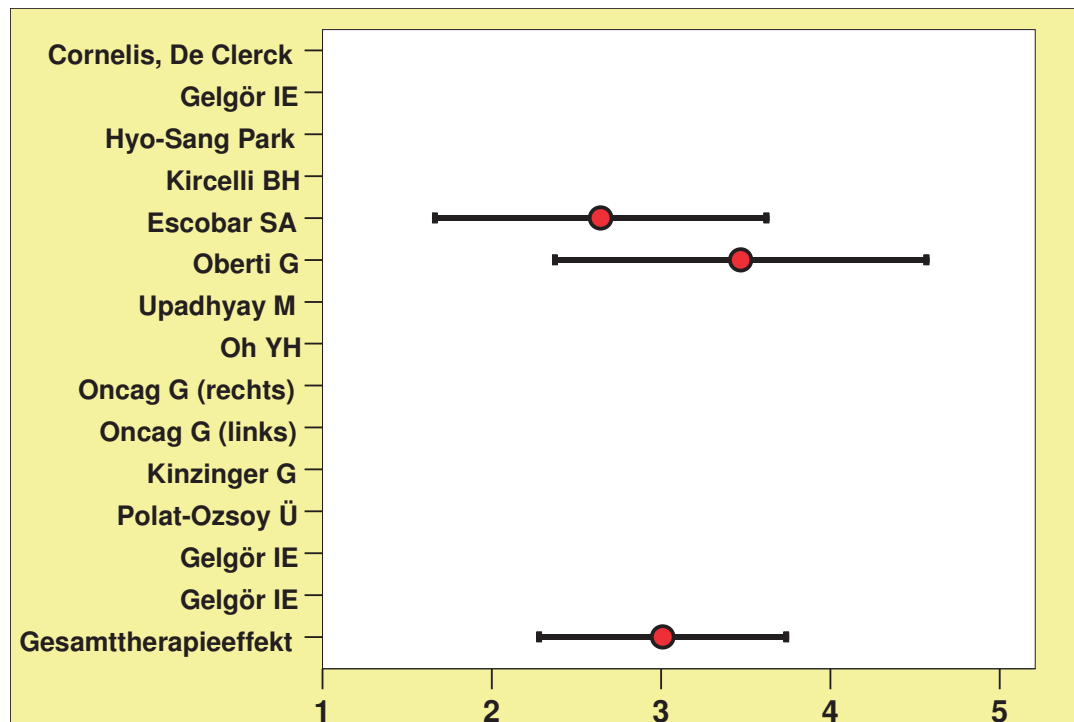


Abb. 17: Distalisation der Krone in zwei Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Distalisation Krone (mm)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Cornelis MA, De Clerck HJ	17				
Gelgör IE	25				
Kircelli BH	10				
Escobar SA	15		6,00±2,27	2,64±0,50	1,66 - 3,62
Oberti G	16		5,90±1,70	3,47±0,56	2,37 - 4,57
Oncag G (re)	15				
Oncag G (li)	15				
Kinzinger G	10				
Polat-Ozsoy Ü	22				
Gelgör IE	20				
Gelgör IE	20				

Tab. 5: Distalisation der Krone in zwei Studien

Der berechnete Gesamttherapieeffekt betrug $3,01 \pm 0,37$ [CI 2,28 – 3,74].

Abbildung 17 zeigt die Werte für die in 2 Studien einzeln vermessene Distalisation der Molarenkrone. Die gemessenen Effekte und die Werte der Primärmessungen waren nahezu deckungsgleich mit den in Tabelle 4 bzw. Abbildung 16 gemessenen Werten für die Distalisation der Furkation. Der Gesamttherapieeffekt wurde bestimmt mit $3,01 \pm 0,37$; das Konfidenzintervall mit 2,28 - 3,74.

4.2.1.2 Distalisation der 1.Prämolaren

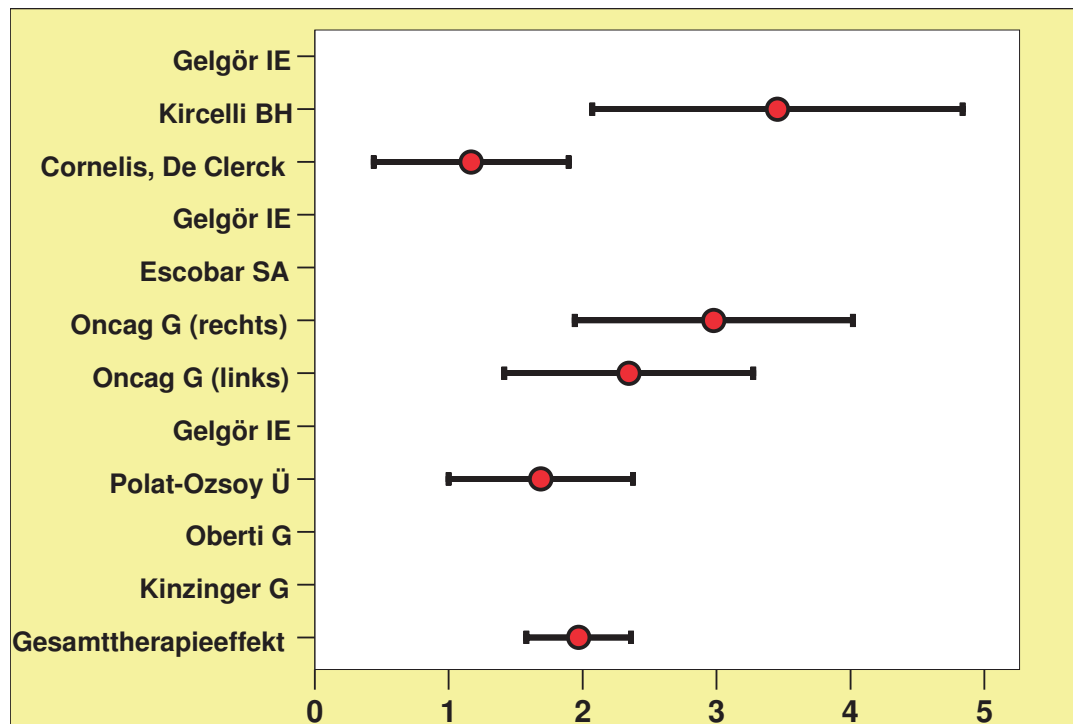


Abb. 18: Distalisation der 1. Prämolaren in verschiedenen Studien

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Distalisation 1. Prämolaren (mm)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Gelgör IE	25				
Kircelli BH	10	PTV	3,80±1,10	3,45±0,71	2,07 - 4,84
Cornelis, De Clerck	17		1,40±1,20	1,17±0,37	0,44 - 1,89
Gelgör IE	20				
Escobar SA	15	S. auf FH			
Oncag G (rechts)	15	PTV	2,80±0,94	2,98±0,53	1,94 - 4,02
Oncag G (links)	15	PTV	3,40±1,45	2,34±0,47	1,42 - 3,27
Gelgör IE	20				
Polat-Ozsoy Ü	22	Vert.L.auf H. 7° zu SN	2,70±1,60	1,69±0,35	1,00 - 2,38
Oberti G	16	PTV			
Kinzinger G	10	PTV			

Tab. 6: Distalisation der 1. Prämolaren in verschiedenen Studien

Der berechnete Gesamttherapieeffekt betrug $1,97 \pm 0,20$ [CI 1,58 – 2,36].

Abbildung 18 veranschaulicht die Distalisation der ersten Prämolaren. Die Werte für den Standardtherapieeffekt lagen zwischen $1,17 \pm 0,37$ und $3,45 \pm 0,71$. Hier wurde deutlich, wie stark die Studienergebnisse divergieren. Den niedrigsten Wert erreichten die

Patienten in der Untersuchung von Cornelis und De Clerck mit $1,17 \pm 0,37$. Eine weitere Studie fiel mit einem Wert von $1,69 \pm 0,35$ auf, die anderen in die Metaanalyse einbezogenen Studien lagen mit Ihren Werten für die Distalisation der Prämolaren über 2,0. Der errechnete Gesamttherapieeffekt betrug daher $1,97 \pm 0,20$, das Konfidenzintervall lag bei $1,58 - 2,36$. Den höchsten Wert erreichte eine Untersuchung von Kircelli et al. mit $3,45 \pm 0,71$.

4.2.1.3 Distalisation der 2. Prämolaren

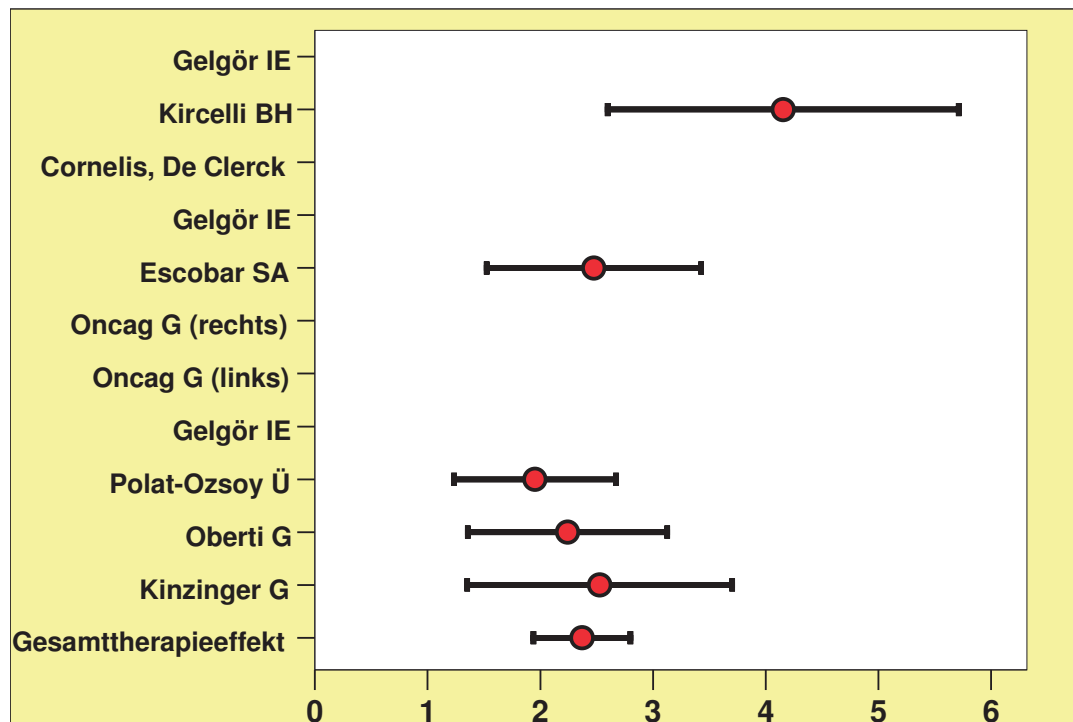


Abb. 19: Distalisation der 2. Prämolaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Distalisation 2. Prämolaren (mm)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Gelgör IE	25				
Kircelli BH	10	PTV	5,40±1,30	4,15±0,79	2,60 - 5,71
Cornelis, De Clerck	17				
Gelgör IE	20				
Escobar SA	15	S. auf FH	4,85±1,96	2,47±0,49	1,52 - 3,43
Oncag G (rechts)	15	PTV			
Oncag G (links)	15	PTV			
Gelgör IE	20				
Polat-Ozsoy Ü	22	Vert.L.auf H. 7° zu SN	4,10±2,10	1,95±0,37	1,23 - 2,67
Oberti G	16	PTV	4,26±1,90	2,24±0,45	1,36 - 3,13
Kinzinger G	10	PTV	1,87±0,74	2,53±0,60	1,35 - 3,70

Tab.7: Distalisation der 2. Prämolaren in verschiedenen Studien

Abbildung 19 veranschaulicht die Distalisation der zweiten Prämolaren. Die Werte für den Standardtherapieeffekt lagen zwischen $1,95 \pm 0,37$ und $4,15 \pm 0,79$. Hier wurde ebenfalls ein großer Unterschied innerhalb der Studienergebnisse deutlich. Den niedrigsten Wert erreichten die Patienten in der Untersuchung von Polat-Ozsoy et al. mit $1,95 \pm 0,37$, während alle anderen in die Metaanalyse einbezogenen Studien mit

ihren Werten für den Standardtherapieeffekt zur Distalisation der zweiten Prämolaren über 2,0 lagen. Der errechnete Gesamttherapieeffekt betrug daher $2,37 \pm 0,22$; das Konfidenzintervall lag bei 1,94–2,80. Den höchsten Wert erreichte eine Untersuchung von Kircelli et al. mit $4,15 \pm 0,79$.

4.2.1.4 Distalisation der Incisivi

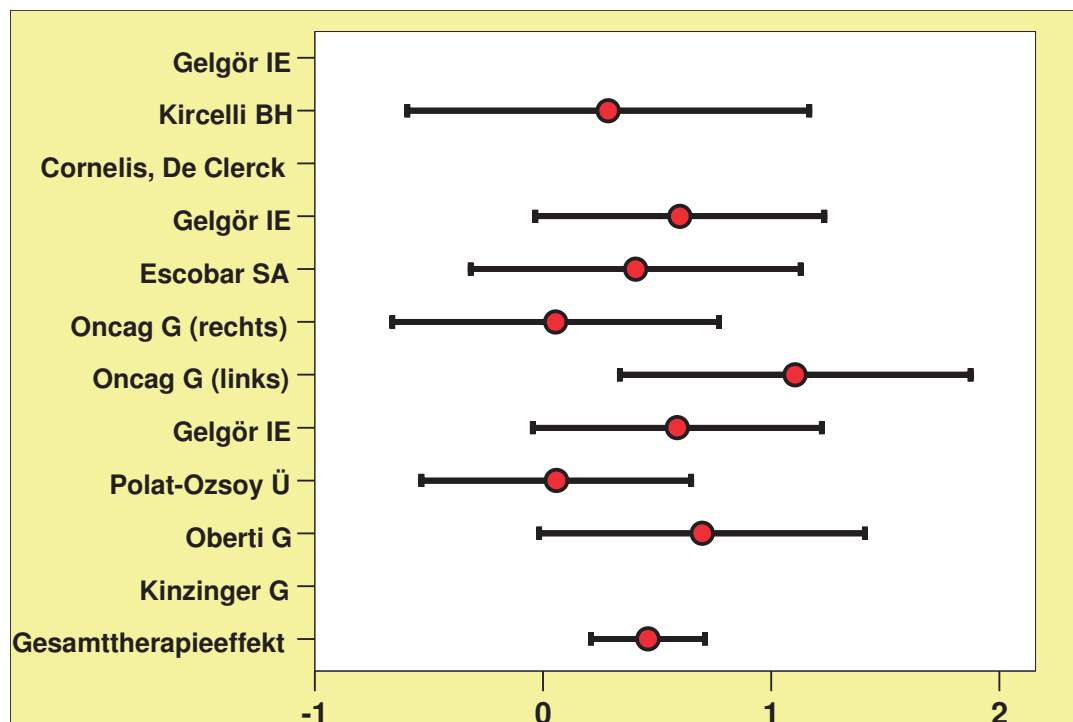


Abb. 20: Distalisierung der Incisivi in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Distalisation Inzisivi (mm)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Gelgör IE	25				
Kircelli BH	10	PTV	0,20±0,70	0,29±0,45	-0,60 - 1,17
Cornelis, De Clerck	17				
Gelgör IE	20		0,09±0,15	0,60±0,32	-0,03 - 1,23
Escobar SA	15	S. auf FH	0,54±1,33	0,41±0,37	-0,32 - 1,13
Oncag G (rechts)	15	PTV	0,06±1,09	0,06±0,37	-0,66 - 0,77
Oncag G (links)	15	PTV	2,00±1,81	1,10±0,39	0,34 - 1,87
Gelgör IE	20		0,40±0,68	0,59±0,32	-0,04 - 1,22
Polat-Ozsoy Ü	22	VR	0,10±1,70	0,06±0,30	-0,53 - 0,65
Oberti G	16	PTV	0,53±0,76	0,70±0,36	-0,02 - 1,41
Kinzinger G	10				

Tab. 8: Distalisierung der Incisivi in verschiedenen Studien

Der berechnete Gesamttherapieeffekt betrug $0,46 \pm 0,13$ [CI 0,21 – 0,71].

Wie Abbildung 20 zeigt, war in 8 einbezogenen Studien neben der Distalisation der Molaren auch eine Distalbewegung der Incisivi messbar. Mit einer Ausnahme lagen die Messwerte für die Distalbewegung der Incisivi zwischen $0,10 \pm 1,70$ und $0,54 \pm 1,33$ mm. Ein stark abweichender Wert wurde in der Untersuchung von Oncag et al. mit $2,00 \pm 1,81$

mm gemessen. Aus den Standardtherapieeffekten aller Studien errechnete sich der Gesamttherapieeffekt von $0,46 \pm 0,13$ und ein Konfidenzintervall von 0,21 - 0,71.

4.3 Dental-anguläre Veränderungen

4.3.1 Kippung der Molaren

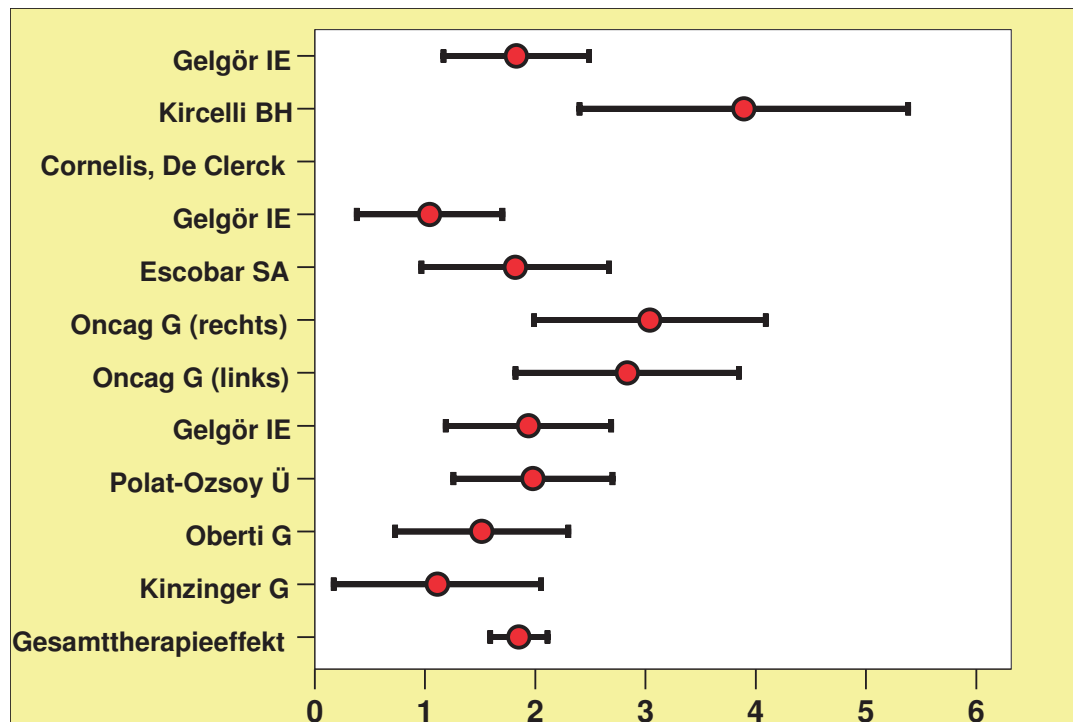


Abb. 21: Kippung der Molaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Kippung Molaren (Grad)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Gelgör IE	25	PP	8,76±4,79	1,83±0,34	1,17 - 2,49
Kircelli BH	10	FH	10,90±2,80	3,89±0,76	2,40 - 5,38
Cornelis, De Clerck	17				
Gelgör IE	20	PP	0,75±0,72	1,04±0,34	0,38 - 1,70
Escobar SA	15	FH	11,31±6,22	1,82±0,43	0,97 - 2,67
Oncag G (rechts)	15	SN	10,00±3,29	3,04±0,54	1,99 - 4,09
Oncag G (links)	15	SN	14,40±5,08	2,83±0,52	1,82 - 3,85
Gelgör IE	20	PP	9,05±4,67	1,94±0,38	1,19 - 2,69
Polat-Ozsoy Ü	22	HR	9,10±4,60	1,98±0,37	1,26 - 2,70
Oberti G	16	FH	5,60±3,70	1,51±0,40	0,73 - 2,30
Kinzinger G	10	SN	2,79±2,51	1,11±0,48	0,17 - 2,05

Tab. 9: Kippung der Molaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Die innerhalb der Studien gemessenen Daten zur Kippung der Molaren während der Distalisation variierten stark. Die geringsten Kippungen verzeichnete die Studie von Gelgör et al. mit einem Wert von $-0,75 \pm 0,72^\circ$. Analog zum Messwert der Studie wies diese Untersuchung auch den geringsten Standardtherapieeffekt von $1,04 \pm 0,34$ auf.

Den Maximalwert in den Primärmessungen erreichte eine Studie von Oncag et al. mit $14,40 \pm 5,08^\circ$. Der maximale Standardtherapieeffekt wurde nicht in dieser, sondern in einer Studie von Kircelli et al. mit dem errechneten Standardtherapieeffekt $3,89 \pm 0,76$ erreicht, wobei diese von den Werten der Primärmessungen ($10,90 \pm 2,80^\circ$) eher im mittleren Bereich lag.

Es wurde ein Gesamttherapieeffekt von $1,85 \pm 0,13$ errechnet; das Konfidenzintervall lag bei 1,59-2,11.

4.3.2 Kippung der 1. Prämolaren

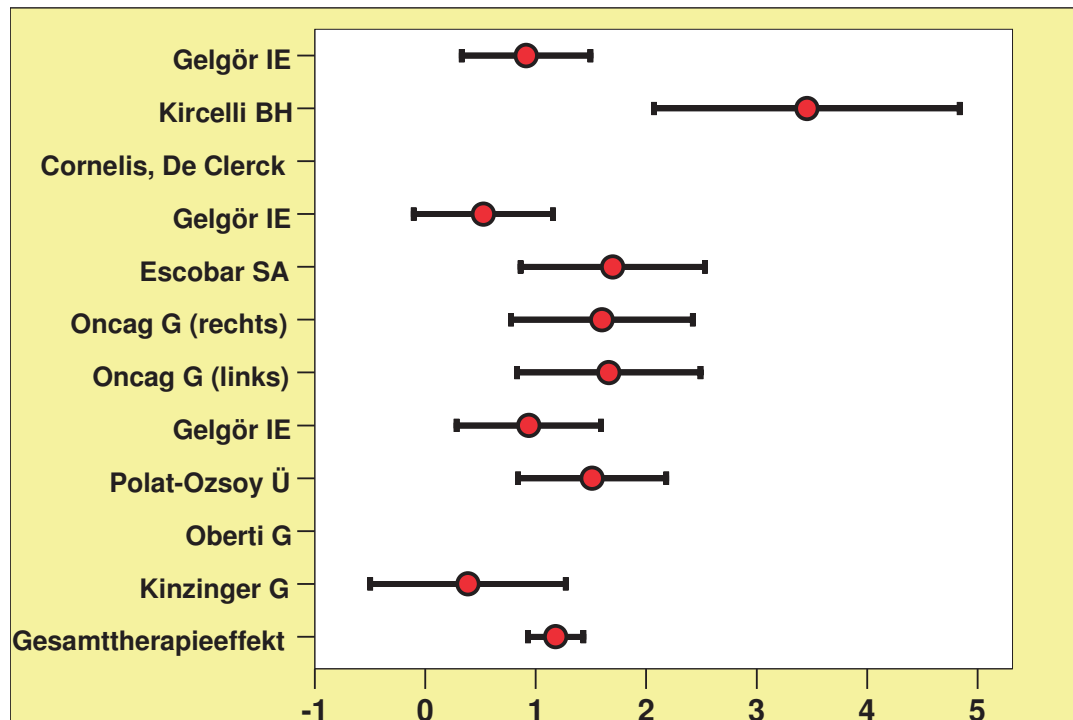


Abb. 22: Kippung der 1. Prämolaren in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Kippung 1. Prämolaren (Grad)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Gelgör IE	25	PP	2,84±3,11	0,91±0,30	0,33 - 1,50
Kircelli BH	10	FH	3,80±1,10	3,45±0,71	2,07 - 4,84
Cornelis, De Clerck	17				
Gelgör IE	20	PP	0,20±0,38	0,53±0,32	-0,10 - 1,16
Escobar SA	15	FH	8,62±5,08	1,70±0,43	0,86 - 2,53
Oncag G (rechts)	15	SN	7,26±4,54	1,60±0,42	0,78 - 2,42
Oncag G (links)	15	SN	6,33±3,81	1,66±0,42	0,83 - 2,49
Gelgör IE	20	PP	3,15±3,36	0,94±0,33	0,28 - 1,59
Polat-Ozsoy Ü	22	HR	7,70±5,10	1,51±0,34	0,84 - 2,18
Oberti G	16	FH			
Kinzinger G	10	PP	1,15±2,98	0,39±0,45	-0,50 - 1,27

Tab. 10: Kippung der 1. Prämolaren in verschiedenen Studien

Der berechnete Gesamttherapieeffekt betrug $1,18 \pm 0,13$ [CI 0,93 – 1,43].

Die Werte für die Kippung der 1. Prämolaren divergierten ebenso stark wie die Kippung der Molaren, wobei die Werte insgesamt nicht die Höhe der Werte für die Molarenkippung erreichten. Minimalwerte wurden in der Studie von Gelgör et al. mit $0,20 \pm 0,38^\circ$ ermittelt. Korrespondierend damit war auch der Standardtherapieeffekt

dieser Studie mit $0,53 \pm 0,32$ relativ klein. Die größte Kippung der 1.Prämolaren wurde in der Untersuchung von Escobar et al. mit $8,62 \pm 5,08^\circ$ gemessen. Der größte Standardtherapieeffekt errechnete sich aus den Werten der Studie von Kircelli et al. mit $3,45 \pm 0,71$.

Der Gesamttherapieeffekt wurde mit $1,18 \pm 0,13$ berechnet, das Konfidenzintervall lag bei 0,93-1,43.

4.3.3 Kippung der Incisivi

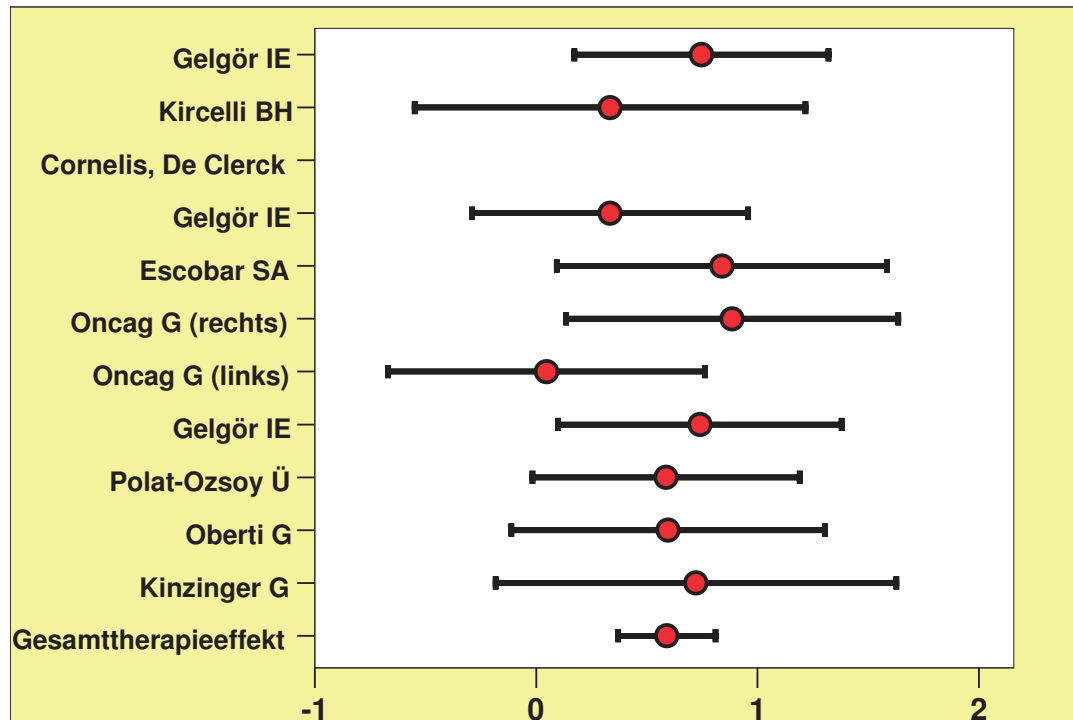


Abb. 23: Kippung der Incisivi in verschiedenen Studien und Gesamttherapieeffekt

Autor/Artikel	Fallzahl	Referenzebene	Kippung Inzisivi (mm)±SD	Standardtherapieeffekt ±SD	Standardtherapieeffekt (CI)
Gelgör IE	25	PP	1,00±1,34	0,75±0,29	0,17 - 1,32
Kircelli BH	10	FH	0,60±1,80	0,33±0,45	-0,55 - 1,22
Cornelis, De Clerck	17				
Gelgör IE	20	PP	0,07±0,21	0,33±0,32	-0,29 - 0,96
Escobar SA	15	FH	2,50±2,98	0,84±0,38	0,09 - 1,59
Oncag G (rechts)	15	SN	1,00±1,13	0,88±0,38	0,14 - 1,63
Oncag G (links)	15	SN	0,06±1,29	0,05±0,37	-0,67 - 0,76
Gelgör IE	20	PP	1,08±1,46	0,74±0,33	0,10 - 1,38
Polat-Ozsoy Ü	22	HR	1,70±2,90	0,59±0,31	-0,02 - 1,19
Oberti G	16	FH	0,84±1,41	0,60±0,36	-0,11 - 1,30
Kinzinger G	10	PP	0,57±0,79	0,72±0,46	-0,18 - 1,63

Tab. 11: Kippung der Incisivi in verschiedenen Studien

Der berechnete Gesamttherapieeffekt betrug $0,59 \pm 0,11$ [CI 0,37 – 0,81].

Die Werte für die Kippung der Incisivi variierten nicht so stark wie die Werte für die Molaren- und Prämolarenkippung. Der größte Standardtherapieeffekt lag innerhalb aller Studien lag bei $0,88 \pm 0,38$.

5. Diskussion

Die Molarendistalisation stellt eine der Hauptaufgaben in der kieferorthopädischen Behandlung dentoalveolär bedingter Distalokklusion dar. Während in der Vergangenheit die Distalisationsapparaturen eine hohe Bereitschaft zur Mitarbeit erforderlich machten, haben in den letzten beiden Jahrzehnten kooperationsunabhängige Apparaturen an Bedeutung gewonnen ³¹.

In den letzten Jahren sind in einigen Studien Verankerungsalternativen mit skelettal verankerten Apparaturen untersucht worden. Wie bereits im systematischen Review von Fudalej und Antoszewska¹⁵ beschrieben ist aufgrund der unterschiedlichen Standardabweichungen ein direkter Vergleich der Therapieeffekte nur bedingt möglich, so dass durch die in dieser Arbeit durchgeführten Metaanalyse durch Berechnungen des Standardtherapieeffektes ein Vergleich erfolgen kann.

Hierbei soll die Effizienz der Molarendistalisation durch implantatverankerte Distalisationsapparaturen untersucht und kritisch mit den in der Literatur beschriebenen Ergebnissen konventionell über die vorhandene Dentition abgestützter Distalisationsgeräte verglichen werden.

Die zur Metaanalyse herangezogenen Studien stammten zur Hälfte aus dem Jahr 2007, 2 Studien stammten aus dem Jahr 2009. Die frühen Studien unterschieden sich von neueren Untersuchungen zumeist in der Art der Implantatverankerung, welche in den letzten Jahren weniger invasiv durch Miniimplantate getragen wurde. Diese wurden besonders aufgrund der verkürzten Einheilphase und der vereinfachten Entfernung nach Abschluss der Distalisation in neueren Studien bevorzugt ²⁴.

Die Fallzahl der einbezogenen Untersuchungen variierte zwischen 10 und 25 Patienten. Insgesamt lagen Daten hinsichtlich der Molarendistalisation von 185 Patienten vor, was einen abschließenden Vergleich mit den Ergebnissen einer Metaanalyse zur dentoalveolär gestützten Molarendistalisation aus dem Jahr 2005 von M. Eren¹¹ ermöglicht.

Die Behandlungsdauer der Patienten lag zwischen 4,6 und 7,8 Monaten, wobei die meisten Untersuchungen einen Zeitraum zwischen 6 und 7 Monaten angaben.

Die niedrigste Behandlungsdauer von 4,6 Monaten wurde in einer Studie von Gelgö et al.¹⁷ erreicht. Für die eine in dieser Studie untersuchte Gruppe lag die mittlere Behandlungsdauer bei den beschriebenen 4,6 Monaten, für die zweite untersuchte

Gruppe bei 5,4 Monaten. Hierbei wurde in der ersten Gruppe mit einer Apparatur mit Open-coil-springs und einer von vestibulär einwirkenden Kraft gearbeitet, in der zweiten Gruppe mit dem Keles Slider und palatinal einwirkender Kraft. Die Autoren erklären die Unterschiede zwischen den Gruppen mit den verstärkten Reibungskräften der Keles Apparatur¹⁷, welche die verlängerte Behandlungsdauer bedingt.

In der Literatur werden die Zeitspannen für die Molarendistalisation bei dentoalveolär verankerten Distalisationsapparaturen mit Werten zwischen 4 und 7 Monaten angegeben¹⁷, abhängig von der jeweils verwendeten Distalisationsapparatur: Magnete³⁰, Superelastic Coil Springs und Pendulum-Apparaturen¹¹.

Der initiale Kraftaufwand, welcher an die Implantate angelegt wurde, lag zwischen 1,5 N in einer Untersuchung von Cornelis et al.⁹ und 3 N in der Studie von Oncag et al.³⁶.

Nach Bondemark et al.³ liegt die erforderliche Kraft zur gleichzeitigen Distalisation der ersten Molaren zwischen 1,5 und 3,0 N. Diese Kräfte liegen weit unter der höchstmöglichen Kraft von 7,0 N, welche das Implantat aushalten könnte, ohne dass ein Verlust der skelettalen Verankerung zu befürchten wäre. Eine Kraftapplikation über 3,0 bis 3,5 N erhöht das Risiko von Wurzelresorptionen und Gingivadehiszenzen¹⁴.

5.1. Dental-lineare Veränderungen

Die größten Distalisationswerte wurden in der Untersuchung von Kircelli et al.²⁷ mit $6,4 \pm 1,30$ mm gemessen. Die relativ große Standardabweichung innerhalb der Messung von 1,30 mm ergibt jedoch einen Standardtherapieeffekt von $4,92 \pm 0,90$ und liegt damit eher im Mittelfeld der betrachteten Studien. Den höchsten Standardtherapieeffekt ergab dagegen eine Studie von Kinzinger et al.²⁶ mit einem nicht ganz so großen mittleren Distalisationswert für die Molaren von $3,92 \pm 0,53$ mm. Der aus der geringen Standardabweichung resultierende Standardtherapieeffekt lag bei $7,40 \pm 1,25$. Dies spricht dafür, dass im Mittel ein überdurchschnittliches Behandlungsziel erreicht wurde. Daneben gewährleistet eine geringe Standardabweichung, dass dem Gesamtkollektiv innerhalb der Messreihen adäquate Therapieeffekte zu teil wurden, während bei großer Standardabweichung der Anteil derer, welche einen besonders hohen oder besonders niedrigen Standardtherapieeffekt hatten, deutlich erhöht ist.

Die absolut niedrigsten Distalisationswerte wurden in den Untersuchungen von Cornelis und De Clerck gefunden. Bedingt durch die relativ große Standardabweichung stellte sich hier mit $1,87 \pm 0,41$ auch der niedrigste Standardtherapieeffekt heraus.

Verglichen mit den Distalisationswerten und den dazugehörigen Standardtherapieeffekten konventionell dentoalveolär getragener Apparaturen aus der Metaanalyse von Eren¹¹ sind die Ergebnisse der skelettal verankerten Apparaturen denen der konventionellen Verankerung leicht überlegen. Der innerhalb der Metaanalyse ermittelte Gesamttherapieeffekt aller untersuchten Apparaturen für die dentoalveolär gestützte Molarendistalisation lag bei $2,58 \pm 0,15$ [Konfidenzintervall 2,43-2,73].

In der vorliegenden Metaanalyse lag der Gesamttherapieeffekt für die Molarendistalisation bei $2,78 \pm 0,17$ [Konfidenzintervall 2,46-3,10].

In zwei Studien^{13, 34} wurden jeweils Messungen zur Distalisation an der Furkation und an der Krone vorgenommen (Abb. 16 und 17) Hierbei konnte besonders die körperliche Bewegung der Molaren verdeutlicht werden. Eine körperliche Distalisation ist für die Stabilität des Behandlungsergebnisses von besonderer Bedeutung. Nach Bondemark et al.⁴ ist die Gefahr einer Rückentwicklung, welche sich in einer Mesialisierung der ersten Molaren äußern würde kleiner, wenn die Molaren während der Distalisation translatorisch bewegt wurden. Wie aus Abbildung 16 und 17 deutlich wird, besteht in den beiden Studien, in welchen die Distalisation von Zahnkrone und Furkation einzeln gemessen wurde, eine Diskrepanz zwischen den gemessenen Werten für die Distalisation der Krone ($6,0 \pm 2,27$ mm bei Escobar et al.¹³ und $5,9 \pm 1,70$ mm bei Oberti et al.³⁴) und der gemessenen Distalisation der Furkation ($4,15 \pm 1,49$ mm bei Escobar et al.¹³ und $4,4 \pm 1,41$ mm bei Oberti et al.³⁴). Dieses Ergebnis spricht für eine nicht rein körperliche Bewegung in der Distalisationsphase, sondern deutet auf eine Kippung hin. Um die Rückentwicklung der Distalisation auch während der auf die Molarendistalisation folgenden weiteren Therapieschritte zu vermeiden, wird empfohlen die bestehende Klasse II/1 - Dysgnathie in eine um 2 mm überkorrigierte Klasse-I-Verzahnung zu überführen. Kinzinger et al.²⁴ empfehlen zur Konsolidierung der distalisierten Position der ersten Molaren in den auf die Distalisation folgenden Therapiephasen eine weitere „aktive Verankerung“ mit reduzierter Kraftapplikation von 0,8 bis 1 N.

Bei skelettaler Verankerung der Distalisationsgeräte ergaben die Ergebnisse nur einer Untersuchung Hinweise auf eine Mesialisierung der Prämolaren im Sinne eines Verankerungsverlustes. In der Studie von Kinzinger et al. wurde eine Mesialisierung der

ersten Prämolaren von $0,72 \pm 0,78$ mm gemessen. Der Verankerungsverlust in der Untersuchung von Kinzinger et al.²⁶ lässt sich durch die Art der Abstützung erklären. Wie in Abb. 6 dargestellt, wurde die Distalisationsapparatur nicht nur auf Implantaten verankert, sondern zusätzlich dental auf den Prämolaren abgestützt, was in diesem Fall zu einer Mesialisierung der anterioren Zahngruppe führte.

Verglichen mit dem in der Metaanalyse errechneten Verankerungsverlust der konventionell verankerten Apparaturen lag dieser Verankerungsverlust jedoch deutlich niedriger. Der Standardtherapieeffekt für die Mesialisierung der Prämolaren bei konventionell verankerten Systemen lag bei $1,26 \pm 0,16$. Alle anderen in die vorliegende Metaanalyse eingebundenen Studien verzeichneten keinen Verankerungsverlust erkennbar durch eine Mesialisierung der Prämolaren, sondern es wurde eine Distalisation messen.

Insgesamt kann durch die vorliegende Metaanalyse konstatiert werden, dass ein Verankerungsverlust im Sinne einer Mesialisierung der anterioren Zahngruppe bei Verankerung der Distalisationsapparatur mittels Implantaten vernachlässigbar gering ist.

Den größten Messwert zur Distalisation der 2. Prämolaren erzielten Escobar et al.¹³ mit $4,85 \pm 1,96$ mm, wobei die große Standardabweichung den Standardtherapieeffekt von nur $2,47 \pm 0,49$ die Studie im Mittelfeld platzierte. Den größten Standardtherapieeffekt erreichten Kircelli et al.²⁷ mit $4,15 \pm 0,79$.

Ähnlich aber nicht ganz so deutlich wurde die Distalisation bei näherer Betrachtung der Werte für die 1. Prämolaren. Hier maßen Kircelli et al. die höchsten Werte zur Distalisation mit $3,80 \pm 1,10$ mm. Korrespondierend dazu ergab sich der höchste Standardtherapieeffekt von $3,45 \pm 0,71$.

In acht der einbezogenen Studien wurde auch die Distalisation der Incisivi gemessen und ein daraus resultierender Standardtherapieeffekt berechnet. Mit zwei Ausnahmen (Studie von Kinzinger et al.²⁶ und Studie von Gelgör et al.¹⁶) lagen die Ergebnisse der Studien zwischen $0,10 \pm 1,70$ mm und $2,00 \pm 1,81$ mm und der errechnete Standardtherapieeffekt bei $0,06 \pm 0,30$ bzw. $1,10 \pm 0,39$. Der Verankerungsverlust in den Untersuchungen von Kinzinger et al.²⁶ und Gelgör et al.¹⁶ liegt in den einzelnen Apparaturen begründet. Wie zuvor beschrieben ist in der Untersuchung von Kinzinger et al. ist die gesamte anteriore Zahngruppe, durch die zusätzliche dentale Abstützung auf den ersten Prämolaren mesialisiert worden. In der Untersuchung von Gelgör et al.¹⁶ liegt die Ursache für die Mesialwanderung vermutlich in der Lokalisation der

Implantatschraube. Diese ist, wie in Abb. 2 deutlich wird, während der Behandlung leicht nach anterior gewandert und hat damit die Incisivi in mesialer Richtung verschoben. Insgesamt lässt sich bei skelettaler Verankerung der Distalisierungsgeräte kein Verankerungsverlust im Sinne einer Mesialwanderung feststellen.

In keiner der betrachteten Studien ist eine Folgeuntersuchung zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt, bei welcher die Rückentwicklung der Molarendistalisation untersucht wurde. Dies könnte Gegenstand folgender Studien sein.

In verschiedenen Untersuchungen mit konventionell verankerten Distalisationsgeräten wurden in der vergleichbaren Metaanalyse¹¹ sowohl In- als auch Extrusionen der Molaren beobachtet. Bei der Distalisation der Molaren durch skelettal verankerte Apparaturen konnten keine Extrusionen nachgewiesen werden. Die Werte, welche auf eine Intrusion der Molaren, Prämolaren sowie der Incisivi hindeuteten, waren so gering, dass diese Effekte nicht in die Metaanalyse einbezogen wurden. Die insgesamt niedrigen Werte sowohl bei Molaren, Prämolaren als auch bei den Incisivi sprechen dafür, dass vertikale Bewegungskomponenten während der skelettal gestützten Molarendistalisation eine eher untergeordnete Rolle spielen.

5.2 Dental-anguläre Veränderungen

Die Messwerte für die Kippung der Molaren erwiesen sich innerhalb der Metaanalyse als die Ergebnisse mit der eindeutig weitesten Streuung. Die absoluten Messwerte lagen zwischen $0,75 \pm 0,72^\circ$ in der Messung von Gelgö et al.¹⁶ und $14,00 \pm 5,08^\circ$ bei Oncag et al.³⁶, welche bedingt durch die hohe Standardabweichung jedoch nur einen Standardtherapieeffekt von $2,83 \pm 0,52$ hatten. Es ließ sich ein Gesamttherapieeffekt von $1,85 \pm 0,1$ mit einem zugehörigen Konfidenzintervall zwischen 1,59-2,11 berechnen. Dieser Wert liegt leicht oberhalb des errechneten Gesamttherapieeffektes der Molarenkippung bei dentoalveolär abgestützten Distalisationsapplikationen von $1,27 \pm 0,12$ [Konfidenzintervall 1,15-1,39], welche in der Metaanalyse von Eren¹¹ berechnet wurde. Die Distalkippung der Molaren stellt einen für die Molarendistalisation ungünstigen Nebeneffekt dar, da sie für eine nicht rein translatorische Bewegung der Molaren spricht und damit eine nicht ganz körperliche Distalisation der Molaren bedeutet. Die durch die Kippung anschließend erforderliche Aufrichtung der betreffenden Molaren bedeutet gleichzeitig eine Verringerung des gewonnenen Platzes. Ein möglicher Grund für erhöhte Werte im Bereich der Kippung der Molaren bei

skelettal verankerten Distalisationsgeräten könnte in der Größe der angewandten Kräfte liegen. Die innerhalb unserer Metaanalyse untersuchten Studien, welche besonders hohe Werte für die Molarenkipfung verzeichneten, hatten eine große initiale Krafteinwirkung angelegt. Diese orientierte sich in allen hier untersuchten Studien mit skelettaler Verankerung an der Größe der Kraftapplikationen, welche für dental abgestützte Distalisationsverfahren angewendet werden. Bei dental abgestützten Applikationen werden die Kräfte allerdings zum Teil durch die Mesialwanderung der anterioren Zahngruppe (Verankerungsverlust) aufgefangen. Dies ist bedingt durch die Positionsstabilität der implantatgestützten Verankerung nicht möglich⁵. Besonders bedeutsam ist in diesem Zusammenhang die Studie von Gelgö et al.¹⁷, in welcher die Patienten in zwei Gruppen eingeteilt untersucht wurden. In der Gruppe mit palatinaler Kraftapplikation wurde ein Wert für die Kippung von $0,75 \pm 0,72^\circ$ gemessen, während die Kippung bei vestibulärer Kraftapplikation in der zweiten Gruppe derselben Untersuchung eine Kippung von $9,05 \pm 4,67^\circ$ ergab¹⁷. Die Autoren der Studie führten diesen großen Unterschied auf die Lokalisation der applizierten Kräfte zurück. In der zweiten Gruppe lag die Kraft gingivanah an, sodass die Kippung sehr gering ausfiel. Hier wird deutlich, dass der Aufbau der Apparatur bei skelettaler Verankerung eine größere Rolle spielt. Diskrepanzen innerhalb der Gesamttherapieeffekte beider Metaanalysen ergab auch die Untersuchung der Kippung der Prämolaren und Incisivi. Während die dentoalveolär gestützten Apparaturen eine Mesialkipfung mit dem Gesamttherapieeffekt von $0,71 \pm 0,19$ und eine Distalkippung mit einem Gesamttherapieeffekt von $0,20 \pm 0,28$ für die Prämolaren eher niedrige Werte erhielten, konnte ein Vergleich der skelettal verankerten Apparaturen innerhalb der vorliegenden Metaanalyse einen Gesamttherapieeffekt von $1,18 \pm 0,13$ bei der Kippung erster Prämolaren nachweisen.

Eine Differenzierung aller berechneten Effekte bezogen auf unterschiedlichen Distalisationsapparaturen ist aufgrund der geringen Anzahl der in die Metaanalyse einbezogenen Untersuchungen nicht möglich. Diese Betrachtung wäre besonders deshalb interessant, da die Unterschiede innerhalb der Effekte in der Metaanalyse zu dental abgestützten Apparaturen stark von der jeweilig angewandten Apparatur abhingen. Hierzu sind weitere Untersuchungen mit einer größeren Anzahl Patienten erforderlich.

5.3 Einfluss dentitionsbedingter Faktoren

In die vorliegende Analyse wurden innerhalb aller Studien sowohl Distalisationen vor dem Durchbruch der zweiten Molaren als auch nach Durchbruch der zweiten Molaren durchgeführt.

In einigen Studien wurde Bezug auf den Einfluss der zweiten Molaren auf die Distalisation genommen. Der Einfluss zum Behandlungsbeginn bereits durchgebrochener 2. Molaren wird in der Literatur kontrovers diskutiert. In der Publikation von Kinzinger et al.²⁵ wird der Durchbruch als möglicher negativer Effekt in Bezug auf die Distalkippung der ersten Molaren während der Distalisation durch dentoalveolär getragene Apparaturen beschrieben (Hypomochlion-Effekt). Die Ergebnisse dieser Analyse stützen diese These teilweise. Die auf Monate umgerechnet größte Distalisation wurde bei Oberti et al.³⁴ mit dem Dual-Force Distalizer bei noch nicht durchgebrochenen zweiten Molaren erreicht. In den untersuchten Patientengruppen bei Gelgör et al.^{16, 17} waren bis zu 90% der zweiten Molaren bereits durchgebrochen und keine hierauf bezogenen Unterschiede festgestellt worden. Da die Nebeneffekte wie Kippung der Molaren nach den Ergebnissen der hier durchgeführten Metaanalyse weniger ausgeprägt sind als bei konventioneller Distalisation, dürfte auch der Einfluss des Durchbruchs der zweiten Molaren eine untergeordnete Rolle spielen. In einem Literaturüberblick von Fudalej et al.¹⁵ untersuchten die Autoren den Einfluss der 2. Molaren in unterschiedlichen Studien genauer und kamen zu dem Schluss, dass die erreichten Distalisationswerte unabhängig von der Prozentzahl durchgebrochener 2. Molaren war. Diese Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass der Durchbruch der zweiten Molaren eine weniger große Rolle in Bezug auf die Gesamtmolarendistalisation spielt.

Zusammenfassende Bewertung der Molarendistalisation mit skelettal und dental getragenen Verankerungen

In einer zusammenfassenden Betrachtung der Ergebnisse der Metaanalyse kann festgehalten werden, dass die Distalisationswerte der Oberkiefermolaren mit Hilfe skelettal verankerter Distalisationsapparaturen denen der konventionellen dentoalveolär gestützten Verankerung überlegen sind. Bedingt durch die geringe Anzahl von Studien, welche diese neue Form der Verankerung untersuchen und bedingt durch die geringe

Anzahl an untersuchten Patienten, fließen besonders große bzw. besonders kleine absolute Werte für die Distalisationsstrecke stärker in die Ergebnisse ein. Verglichen mit den konventionell verankerten Apparaturen sind deutlich weniger Studien bisher durchgeführt worden. Der in der Literatur beschriebene Gesamttherapieeffekt in Bezug auf die Molarendistalisation lag für die dentoalveolär verankerten Apparaturen bei $2,58 \pm 0,15$ [Konfidenzintervall 2,43-2,73] und im Vergleich dazu lag der innerhalb der vorliegenden Metaanalyse ermittelte Wert bei den skelettal verankerten Apparaturen bei $2,78 \pm 0,17$ [Konfidenzintervall 2,46-3,10].

Entscheidender Vorteil der skelettalen Abstützung ist jedoch ein kaum nachzuweisender Verankerungsverlust im Sinne einer Mesialwanderung der anterioren Zahngruppe. Dieser bei konventioneller dentoalveolärer Abstützung nicht zu verhindernde Verankerungsverlust²⁴ muss in der nachfolgenden nivellierenden Behandlungsphase nach Konsolidierung der neuen Position der Molaren wieder korrigiert werden. Der Gesamttherapieeffekt des Verankerungsverlustes bezogen auf die Mesialisierung der Prämolaren betrug in der Metaanalyse von Eren¹¹ $1,26 \pm 0,16$ [Konfidenzintervall 1,1-1,42], bezogen auf die Mesialisierung der Incisivi $1,52 \pm 0,14$ [Konfidenzintervall 1,38-1,66].

Im Vergleich mit den in der Literatur beschriebenen Werten kann vermutet werden, dass die Anzahl und der Umfang unerwünschter Nebeneffekte bei Verwendung skelettal gestützter Verankerungssysteme geringer ist als bei dentoalveolärer Verankerung. Bevor dies jedoch eindeutig festgestellt werden kann, müssen mehr prospektive Studien mit höherer Fallzahl erfolgen.

In der Studie von Polat-Ozsoy et al.³⁷ sind skelettal verankerte Distalisationsapparaturen direkt mit einer Gruppe konventionell verankerter Distalisationsapparaturen verglichen worden. Auch in dieser direkten Gegenüberstellung sind die Distalisationswerte für beide Gruppen vergleichbar, die Ausprägung der unerwünschten Nebeneffekte wie Kippung und Mesialisierung der anterioren Zahngruppe in der Patientengruppe der skelettal verankerten Geräte jedoch deutlich geringer.

Ein weiterer Vorteil der skelettalen Abstützung liegt auch in der geringeren Anzahl an Kontraindikationen. So können die in Kapitel 5.3 bereits erwähnten dentitionsbedingten Probleme wie beispielsweise die Nichtanlage von Zähnen oder parodontale Probleme der Verankerungszähne bei der skelettalen Verankerung weitgehend außer Acht

gelassen werden. Dies führt zu einem vergrößerten Indikationsbereich auch in der Behandlung Erwachsener.

Zur weiteren Bestätigung der hier beschriebenen Ergebnisse sollten noch randomisierte Studien mit größerer Fallzahl erfolgen. Auch fehlen bisher Studien, welche die dauerhafte Stabilität der erreichten Distalisation durch skelettal gestützte kooperationsunabhängige Apparaturen untersuchen und diese mit der Stabilität der durch dentoalveolär verankerte Apparaturen erreichten Molarendistalisation vergleichen.

6. Literaturverzeichnis

1. Abels N, Schiel HJ, Hery-Langer G, Neugebauer JE, Engel M (1999) Bone-condensing in the placement of endosteal palatal implants: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 14:849-52
2. Baumgaertel S (2009) State of the art of miniscrew implants: an interview with Sebastian Baumgaertel. Interviewed by Robert P. Scholz. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:277-81
3. Bondemark L, Feldmann I, Feldmann H (2002) Distal molar movement with an intra-arch device provided with the Onplant System for absolute anchorage. *World J Orthod* 3:117-24
4. Bondemark L, Kurol J, Bernhold M (1994) Repelling magnets versus superelastic nickel-titanium coils in simultaneous distal movement of maxillary first and second molars. *Angle Orthod* 64:189-98
5. Bussick TJ, McNamara JA, Jr. (2000) Dentoalveolar and skeletal changes associated with the pendulum appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 117:333-43
6. Chen J, Chen K, Garetto LP, Roberts WE (1995) Mechanical response to functional and therapeutic loading of a retromolar endosseous implant used for orthodontic anchorage to mesially translate mandibular molars. *Implant Dent* 4:246-58
7. Chen YJ, Chang HH, Huang CY, Hung HC, Lai EH, Yao CC (2007) A retrospective analysis of the failure rate of three different orthodontic skeletal anchorage systems. *Clin Oral Implants Res* 18:768-75
8. Chen YJ, Chang HH, Lin HY, Lai EH, Hung HC, Yao CC (2008) Stability of miniplates and miniscrews used for orthodontic anchorage: experience with 492 temporary anchorage devices. *Clin Oral Implants Res* 19:1188-96
9. Cornelis MA, De Clerck HJ (2006) Biomechanics of skeletal anchorage. Part 1. Class II extraction treatment. *J Clin Orthod* 40:261-9
10. Cornelis MA, De Clerck HJ (2007) Maxillary molar distalization with miniplates assessed on digital models: a prospective clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132:373-7
11. Eren M (2006) Therapieeffekte verschiedener intraoral verankerter kieferorthopädischer Apparaturen zur kooperationsunabhängigen Distalisation von Oberkiefermolaren. Eine Metaanalyse. Dissertationsschrift RWTH Aachen
12. Erverdi N, Tosun T, Keles A (2002) A new anchorage site for the treatment of anterior open bite: zygomatic anchorage. a case report. *World J Orthod* 3:147-53
13. Escobar SA, Tellez PA, Moncada CA, Villegas CA, Latorre CM, Oberti G (2007) Distalization of maxillary molars with the bone-supported pendulum: a clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:545-9
14. Fritz U, Diedrich P, Kinzinger G, Al-Said M (2003) The anchorage quality of mini-implants towards translatory and extrusive forces. *J Orofac Orthop* 64:293-304
15. Fudalej P, Antoszewska J (2011) Are orthodontic distalizers reinforced with the temporary skeletal anchorage devices effective? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:722-9
16. Gelgör IE, Buyukyilmaz T, Karaman AI, Dolanmaz D, Kalayci A (2004) Intraosseous screw-supported upper molar distalization. *Angle Orthod* 74:838-50
17. Gelgor IE, Karaman AI, Buyukyilmaz T (2007) Comparison of 2 distalization systems supported by intraosseous screws. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:161 e1-8

18. Glasl B, Ludwig B, Kinzinger G, Wilmes B, Lisson J (2009) Molarendistalisation mit skelettal getragenen Non-Compliance-Geräten unter Einsatz von Miniimplantaten. Eine aktuelle Literaturübersicht. *Kieferorthop* 23:7-17
19. Glatzmaier J, Wehrbein H, Diedrich P (1995) Die Entwicklung eines resorbierbaren Implantatsystems zur orthodontischen Verankerung. *Fortschr Kieferorthop* 56:175-81
20. Haanaes HR, Stenvik A, Beyer-Olsen ES, Tryti T, Faehn O (1991) The efficacy of two-stage titanium implants as orthodontic anchorage in the preprosthodontic correction of third molars in adults--a report of three cases. *Eur J Orthod* 13:287-92
21. Hedges S, Olkin I (1985) *Statistical Methods for Meta Analysis*. Academic Press, New York
22. Higuchi KW, Slack JM (1991) The use of titanium fixtures for intraoral anchorage to facilitate orthodontic tooth movement. *Int J Oral Maxillofac Implants* 6:338-44
23. Kanomi R (1997) Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31:763-7
24. Kinzinger G, Wehrbein H, Byloff FK, Yildizhan F, Diedrich P (2005) Innovative anchorage alternatives for molar distalization--an overview. *J Orofac Orthop* 66:397-413
25. Kinzinger GS, Fritz UB, Sander FG, Diedrich PR (2004) Efficiency of a pendulum appliance for molar distalization related to second and third molar eruption stage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125:8-23
26. Kinzinger GS, Gulden N, Yildizhan F, Diedrich PR (2009) Efficiency of a skeletonized distal jet appliance supported by miniscrew anchorage for noncompliance maxillary molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:578-86
27. Kircelli BH, Pektas ZO, Kircelli C (2006) Maxillary Molar Distalization with a Bone-Anchored Pendulum Appliance. *Angle Orthod* 76:650-9
28. Linder-Aronson S, Nordenram A, Anneroth G (1990) Titanium implant anchorage in orthodontic treatment an experimental investigation in monkeys. *Eur J Orthod* 12:414-9
29. Ludwig B, Glasl B (2008) Mehr als nur eine Minischraube. *KN Kompendium* 1:36-9
30. Ludwig B, Glasl B, Bowman SJ, Wilmes B, Kinzinger GSM, Lisson JA (2011) Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Palatal Sites. *J Clin Orthod* 45:433-41
31. Ludwig B, Glasl B, Kinzinger G, Lisson J (2009) Skeletal K-Pendulum – A Non-Compliance Appliance with Skeletal Anchorage for Maxillary Molar Distalization *Inf Orthod Kieferorthop* 41:129-37
32. Ludwig B, Glasl B, Kinzinger GSM, Lietz T, Lisson JA (2011) Anatomic Guidelines for Miniscrew Insertion: Vestibular Interradicular Sites. *J Clin Orthod* 45:165-73
33. Melsen B, Lang NP (2001) Biological reactions of alveolar bone to orthodontic loading of oral implants. *Clin Oral Implants Res* 12:144-52
34. Oberti G, Villegas C, Ealo M, Palacio JC, Baccetti T (2009) Maxillary molar distalization with the dual-force distalizer supported by mini-implants: a clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135:282 e1-5
35. Odman J, Grondahl K, Lekholm U, Thilander B (1991) The effect of osseointegrated implants on the dento-alveolar development. A clinical and radiographic study in growing pigs. *Eur J Orthod* 13:279-86

36. Oncag G, Seckin O, Dincer B, Arikan F (2007) Osseointegrated implants with pendulum springs for maxillary molar distalization: a cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:16-26
37. Polat-Ozsoy O, Kircelli BH, Arman-Ozcirpici A, Pektas ZO, Uckan S (2008) Pendulum appliances with 2 anchorage designs: conventional anchorage vs bone anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:339 e9- e17
38. Roberts WE, Helm FR, Marshall KJ, Gongloff RK (1989) Rigid endosseous implants for orthodontic and orthopedic anchorage. *Angle Orthod* 59:247-56
39. Roberts WE, Marshall KJ, Mozsary PG (1990) Rigid endosseous implant utilized as anchorage to protract molars and close an atrophic extraction site. *Angle Orthod* 60:135-52
40. Triaca A, Antonini M, Wintermantel E (1992) Ein neues Titan-Flachschrauben-Implantat zur orthodontischen Verankerung am anterioren Gaumen. *Inf Orthod Kieferorthop* 24:251-7
41. Wehrbein H (1994) Enossale Titanimplantate als orthodontische Verankerungselemente. Experimentelle Untersuchungen und klinische Anwendung. *Fortschr Kieferorthop* 5:236-50
42. Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P (1996) The Orthosystem--a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. *J Orofac Orthop* 57:142-53
43. Wehrbein H, Göllner P (2007) Skeletal anchorage in Orthodontics - basics and clinical application. *J Orofac Orthop* 68:443-61

7. Danksagung

Ich danke vorrangig Herrn Prof. Dr. Lisson für die Überlassung des Themas und die wohlwollende Bereitschaft, mit einer allgemein Zahnärztlich tätigen Zahnärztin zusammenzuarbeiten.

Mein besonderer Dank gebührt Herrn Dr. Ludwig für die intensive Betreuung, die uneingeschränkte Hilfe in allen kieferorthopädischen Fragen, die Bereitstellung von Fachliteratur aus seiner kieferorthopädischen Praxis in Traben-Trarbach und für seine ständige Ansprechbarkeit auch bei schwierigen Fragestellungen. Durch seine sehr kollegiale Unterstützung wurden mir ein Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten und ein Abschluss dieser Arbeit ermöglicht.

Ein herzlicher Dank an Frau Dr. Kottmann für ihre statistischen Analysen, ihre unermüdliche Unterstützung in allen Fragen wissenschaftlichen Arbeitens und ihre großartige Art, immer wieder zu motivieren.

Ich bedanke mich bei meinen Eltern, die mir diesen Weg ermöglicht haben, meinem Mann und meinen Kindern, die alle Launen ertragen haben, mich in allen Phasen der Promotion unterstützten und mir die Freiräume schafften, um diese Arbeit fertigzustellen.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Kollegin Sandra Spliethoff für ihre Unterstützung in arbeitsreichen Phasen.